



Tvilho Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår

Svendsen, L.M.; Sortkjær, O.; Ovesen, N.B.; Skriver, J.; Larsen, S.E.; Pedersen, Per Bovbjerg; Rasmussen, Richard Skøtt; Dalsgaard, Anne Johanne Tang

Publication date:
2008

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Svendsen, L. M., Sortkjær, O., Ovesen, N. B., Skriver, J., Larsen, S. E., Pedersen, P. B., Rasmussen, R. S., & Dalsgaard, A. J. T. (2008). *Tvilho Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår*. Danmarks Fiskeriundersøgelser. DTU Aqua-rapport No. 184-08 [http://www.difres.dk/dk/publication/files/28052008\\$184-08_elektronisk_samlet.pdf](http://www.difres.dk/dk/publication/files/28052008$184-08_elektronisk_samlet.pdf)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Tvilho Dambrug

- et modeldambrug under forsøgsordningen

Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet

med væsentlige resultater fra første måleår

Lars M. Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Ole Sortkjær, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Niels Bering Ovesen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Jens Skriver, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Søren Erik Larsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Per Bovbjerg Pedersen, DTU-AQUA
Richard Skøtt Rasmussen, DTU-AQUA
Anne Johanne Tang Dalsgaard, DTU-AQUA

DTU Aqua
Afdelingen for Havøkologi og Akvakultur
Kavalergården
2920 Charlottenlund
Marts 2008

0 Sammenfatning

De samlede miljømæssige fordele ved modeldambrug er mangetallige, som blandt andet oplistet vedrørende især uhindret faunapassage i Dambrugsudvalgets rapport:

Vandløbet	Dambruget
<p>Fordele:</p> <p>"Død å"-strækning fjernes</p> <p>Øget vandføring i dambrugen omløb</p> <p>Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</p> <p>Naturlige variationer i vandløbs vandføring opretholdes i omløbene</p> <p>Indtrængen af naturlig fauna i dambruge reduceres</p> <p>Passageproblemer ved dambrugen opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere</p> <p>Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</p> <p>Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</p> <p>Fald i vandløbs iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</p> <p>Ulemper:</p> <p>Ingen</p>	<p>Fordele:</p> <p>Stabile produktionsforhold</p> <p>Påvirkninger fra variationer i indløbsvands kvalitet reduceres eller elimineres</p> <p>Øget effekt af renseforanstaltninger</p> <p>Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</p> <p>Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet</p> <p>Reduceret smittepres</p> <p>Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</p> <p>Bedre arbejdsmiljø</p> <p>Ulemper:</p> <p>Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</p> <p>Øget udledning af CO₂</p> <p>Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</p> <p>Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</p> <p>Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</p>

Der er tidligere udgivet en statusrapport for det første måleår ved Tvilho Dambrug (Svendsen et al., 2006). I denne statusrapport, som omhandler andet driftsår for Tvilho Dambrug som modeldambrug, beskrives de opnåede resultater fra monitoringsprojektets måle- og dokumentationsprogram, der har til formål at fremskaffe dokumentation for dambruges rensning og udledning af næringsstoffer og organisk stof. Der er medtaget en række væsentlige resultater fra år 1 for at kunne sammenligne resultater mellem de to måleår. Der er også medtaget resultater fra første måleår for emner, som ikke blev medtaget i statusrapporten for det første måleår. Endvidere er medtaget resultater fra første måleår, hvor der er lavet korrektioner ift. indhold af kvælstof og fosfor i fisk og for produktionsbidraget af COD og BI₅ og forholdet mellem disse. Dette har medført justeringer i produktionsbidraget og hermed i beregnede rensgrader og udlederkontrollen ift. statusrapporten for første måleår, men ændrer ikke væsentligt ved de overordnede resultater for det første måleår. Der drages nogle konklusioner for resultaterne for de to må-

leår på dambruget. Hermed kan og bør denne status rapport for andet måleår også anvendes som en samlet rapportering for de væsentligste resultater for de to måleår under forsøgsordningen for Tvilho Dambrug.

Produktionsforhold

Tvilho Dambrug har i perioden 25. april 2006 til 24. april 2007 anvendt 95,7 tons foder med en estimeret produktion på 112,6 tons fisk (inkl. døde). Dette giver en samlet foderkvotient (alene baseret på tal i produktionsanlæggene) på 0,85.

Der har været forskellige indkøringsvanskeligheder, udskiftning af fiskemester, tillæring til ny produktionsform, ny teknologi og nye problemstillinger som vanskeliggør driften. Dambruget har derfor heller ikke udnyttet sin fulde foderkvote på 127,2 t i andet driftsår. Man har dog løbende opnået en erfaring med drift af anlægget som gør, at produktionen ifølge dambrugsejeren siden sidst i 2007 er forløbet meget tilfredsstillende.

Vandforbrug

Tvilho Dambrug indtager nu vand alene fra to boreriger placeret i den østlige ende af dambruget. Opstemning og spærringer i vandløbet er således ikke længere nødvendige. Hertil kommer, at vandforbruget i forbindelse med betydelig recirkulering (recirkuleringsgrad 98-99 %) er nedsat til 15,5 l/s (2. driftsår) i forhold til tidligere, hvor man havde ret til fuld indvinding af åvand.

Der sker en indsivning af vand til plantelagunen på 2,6 l/s (2,1 l/s i 1.år), svarende til 15 % (13 %) af den målte tilledning fra produktionsanlægget.

Rensegrader

Ved forarbejdet til bekendtgørelse om modeldambrug m.v. blev der forudsat nogle rensegrader for organisk stof og næringsstoffer på modeldambrug. En sammenstilling af de i bekendtgørelsen for modeldambrug forudsatte og de opnåede nettorensgrader i 1. (reviderede) og 2. måleår på Tvilho Dambrug ser således ud:

	Forventet	Opnået 1. år	Opnået 2. år
Organisk stof (BI₅)	75 %	88 %	87 %
Total kvælstof (inkl. laguner)	32 %	34 %	20 %
Total Fosfor	60 %	71 %	65 %

De ovennævnte rensegrader indeholder opløste stoffer (kvælstof og fosfor) i det overfladenære grundvand som indsiver til plantelagunen. Der ved reduceres den opnåede rensegrad for især opløst kvælstof og opløst fosfor. Som det fremgår af tabellen er der ikke opnået så høj rensning af total kvælstof som forventet især i andet måleår, mens rensegraderne for organisk stof er højere end det forudsatte og for fosfor lidt højere end forudsat. Der er således både behov og muligheder for forbedret kvælstoffjernelse på dambruget. Dette formodes at kunne opnås ved forbedret udnyttelse af plantelagunens potentiale herfor (via ændringer i vand-

flow/forøget sedimentation, som giver øget organisk omsætning og øget denitrifikation, samt via øget plantevækst i lagunen) og/eller indsættelse af specifikke denitrifikationsfiltre.

Produktionsanlægget med dets slamkegler og biofiltre fjerner efter foder-typeskift meget effektivt især ammonium, fosfor og organisk stof. Plantelagunen fjerner derimod ikke særligt store andele af stof, 13 % af fosforen men kun 3-7 % af de øvrige stoffer ud af den samlede stofmængde. Selvom der endvidere heroveni sker en fjernelse af indsvivet kvælstof og fosfor, så er total kvælstof (specifikt nitrat) fjernelsen generelt lav på Tvilho Dambrug.

Specifik udledning

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelse for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t BI_5 , 1.119 t total kvælstof og 90 t total fosfor ved en produktion på 29.434 t ørreder, svarende til gennemsnitlige specifikke udledninger som angivet i nedenstående tabel:

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)			Tvilho dambrug i % af gennemsnit DK	
	Gennemsnit Danmark	Tvilho Dambrug - 1. måleår	Tvilho Dambrug - 2. måleår	År 1	År 2
Organisk stof (BI_5)	105,3	7,9	9,4	8	9
Total-N	38,0	23,7	28,8	62	76
Total-P	3,1	1,5	1,5	48	48

Som det fremgår, er der en markant reduceret specifik udledning af organisk stof i sammenligning med andre dambrug. Ligeledes ses ca. en halvering pr. kg produceret fisk i udledning af fosfor, mens total-N udledningen ligger noget højere idet ca. 2/3 gennemsnitligt udledes.

Overholdelse af udlederkrav jf. dambrugets miljøgodkendelse

I miljøgodkendelsen har Ribe Amt opstillet en række kontrolparametre med tilhørende kravværdi.

Kontrol-parameter	Kravværdi i Miljøgodkendelse ($mg\ l^{-1}$)	Udledning efter Bekendt. om modeldambrug – År 1 ($mg\ l^{-1}$)	Udledning efter Bekendt. om modeldambrug – År 2 ($mg\ l^{-1}$)	Teoretiske kravværdier jf. Dambrugsbekendtgørelsen ($mg\ l^{-1}$)
Susp. stof	10	8,3	7,28	26
NH_4^+-N	1,0	1,2	1,36	3,5
total-N	6,0	5,72	8,89	5,3
total-P	0,5	0,54	0,37	0,44
BI_5	7	3,49	2,79	8

Kravværdierne kompenserer kun på nogle parametre (total-N, total-P og BI_5) for reduktionen i vandforbrug, mens der på suspenderet stof og især på ammonium kvælstof er stillet væsentligt skrappe krav. I den tredje og fjerde kolonne er opgivet Tvilho Dambrugs beregnede udledninger i 1. og 2. måleår beregnet efter Bekendtgørelsens regler. Kravene er overholdt for suspenderet stof og organisk stof samt for fosfor (dog ved nedrunding år 1). Ammonium og total kvælstof overholdes ikke. Såfremt der

komponeres fuldt for reduktionen i vandforbrug (5. kolonne) overholdes også ammonium-kravet, mens total kvælstof også her giver problemer.

Fauna og faunaindex

Dansk Vandløbs Fauna Index (DVFI) er opgjort således:

	Nørrebæk, opstrøms	Nørrebæk, nedstrøms
Marts 2004	5	5
December 2004	5	6
April 2005	5	5
August 2005	5	7
September 2005	7	5
Februar 2006	5	5
Juni 2006	5	5
September 2006	6	5
Forår 2007	5	6
Maj 2007	5	5

Idet målsætningen på både op- og nedstrømsstationen er 5, er der målsætningsopfyldelse ved alle vandløbsbedømmelser. Der har overordnet ikke været forskel mellem op- og nedstrøms stationerne.

Diskussion og primære udeståender

Rensegrad og udledningstal ser lovende ud for de organiske stoffer og til dels fosfor, men der er behov for yderligere reduktion i udledningen kvælstof (nitrat). Dette er ekstra relevant i relation til at man ikke har udnyttet den tilladte fodermængde på Tvilho Dambrug. Der har været driftsmæssige indkøringsproblemer, sygdom m.v., hvilket kan have haft indvirkning på dambrugets drift og stofudledninger.

Resultaterne viser tydeligt, at man skal tilstræbe at fjerne mere kvælstof over dambruget, idet der under forsøgsordningen er set bort fra kravet om udleder-neutralitet ift. kvælstof. Trods ganske høj ammonium kvælstof fjernelse over biofiltrene, hvorved dette omdannes til nitrat, sker der efterfølgende tilsyneladende kun begrænset denitrificering af nitraten til frit kvælstof i både plantelagune og slambassiner. Herved sker der en for lille fjernelse af total kvælstof over dambruget. Denitrifikationsprocessen burde dog kunne faciliteres bedre via mindre ændringer i konstruktion og drift.

Selv om fjernelsen i produktionsanlægget og den efterfølgende tilbageholdelse i slambassinerne er blevet betydeligt forbedret, indeholder klarringsvandet, som ledes fra slambassiner til plantelagunen, stadig relativt meget især fosfor og kvælstof. Dette er uheldigt, eftersom disse stofmængder vil belaste plantelagunen og evt. blive ledt til vandløbet i det omfang de ikke frarenses i plantelagunen. En yderligere forbedret tilbageholdelse i slambassinerne af disse stoffer ville derfor fordelagtigt.

I de to driftsår har plantelagunen på Tvilho Dambrug, som også nævnt ovenfor, ikke fungeret helt tilfredsstillende, bl.a. fordi der ikke har været

tilstrækkelig plantedækning til frarensning af forurenende stoffer og fordi klaringsvand fra slambed ledes til plantelagunen langt nedstrøms i denne. Det forekommer som om der, trods den beregnede opholdstid, ikke sker tilstrækkelig sedimentation i plantelagunen, hvorved flere af de centrale processer, herunder specifikt sekvensen: aerob nedbrydning af organisk stof – førende til iltfattige forhold bundnært – faciliterende denitrifikationsprocessen (nitratfjernelsen) med tilhørende yderligere forbrug af organisk stof; bliver begrænset. I første måleår blev hverken afløbet fra produktionsanlægget eller klaringsvandet fra slambassin tilledt helt opstrøms i plantelagunen. Dette er dog ændret i 2. måleår således at afløbet fra produktionsanlægget tilledes opstrøms i plantelagunen, men altså uden klar effekt på stoffjernelsen, formentlig da klaringsvandet fra slambed stadig ikke ledes ind opstrøms. En forbedret plantelagune-effektivitet vil formentlig kunne opnås via mindre ændringer i konstruktion, flowforhold og drift samt med gradvis øget plantedækning heri.

1 Indledning

Som et af resultaterne fra det af fødevarerministeriet nedsatte dambrugsudvalg (Udvalget vedr. dambrugserhvervets udviklingsmuligheder) blev der i dette udvalgs rapport, marts 2002 (*Dambrugsudvalget, 2002*), peget på muligheden af etablering af mere ensartede typedambrug eller såkaldte modeldambrug.

Det ensartede koncept i modeldambrugene skulle muliggøre, at dokumentation samt viden og erfaring indhentet herpå, kunne finde anvendelse på andre modeldambrug af samme type, således at såvel drift som sagsbehandling, tilladelser m.v. kunne smidiggøres.

I såvel sideløbende som efterfølgende arbejder (eks.: Pedersen P.B. et al. 2003; Svendsen, L.M. & Pedersen, P.B.; 2004) samt notater og Bekendtgørelser (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002* og *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug, 2004*) er de nærmere specifikationer og krav til modeldambrug blevet defineret og fastlagt.

Tre typer modeldambrug er beskrevet (type 1, 2 og 3), hvor der for type 2 og 3 er åbnet for en deltagelse under en 2-årig forsøgsordning, i hvilken periode monitoring af den resulterende miljømæssige effekt skulle måles.

Ingen dambrug har ønsket ombygning til type 2 under forsøgsordningen, mens 8 dambrug af type 3 blev udvalgt til deltagelse i denne. Tvilho Dambrug er et af disse.

Det skal understreges, at listen over miljømæssige fordele ved modeldambrugsdrift er lang, som opgjort i Dambrugsudvalgets rapport jf. nedenstående tabel.

Disse miljømæssige fordele opnås under alle omstændigheder ved etablering af modeldambrug. Formålet med monitoringsprojektet er således alene at udvikle og gennemføre et specificeret måleprogram for modeldambrug, baseret på kravene om målinger i Miljøministeriets "*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*" og "*Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004)*" for derigennem at fremskaffe den fornødne dokumentation for dambrugenens rensning samlet og for de enkelte renseforanstaltninger og for udledning af næringsstoffer og organisk stof, herunder for overholdelse af udlederkravene. Ifølge bekendtgørelse skal DMU (tidligere under Miljøministeriet nu under Århus Universitet) og DFU som har ændret navn til DTU-AQUA opstille et måleprogram, der skal tilvejebringe den omtale dokumentation.

De 8 modeldambrug monitoreres derfor løbende af DMU og DTU-AQUA over en 2-årig driftsperiode. På nogle dambrug måles der over alle de forskellige dele af dambruget, de såkaldte intensivt monitorerede dambrug, mens der på de andre måles samlet over produktionsanlægget, de såkaldte ekstensivt monitorerede dambrug, som Tvilho Dambrug hører til.

Dette arbejde er blevet udført på baggrund af bevilling fra Fødevareministeriets Direktorat for FødevareErhverv via FIUF- midler, og er således støttet med 50 % fra den Danske Stat og 50 % fra EU. Der takkes hermed for den tildelte bevilling.

Vandløbet	Dambruget
<p>Fordele:</p> <p>"Død å"-strækning fjernes</p> <p>Øget vandføring i dambrugen omløb</p> <p>Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</p> <p>Naturlige variationer i vandløbets vandføring opretholdes i omløbene</p> <p>Indtrængen af naturlig fauna i dambrugen reduceres</p> <p>Passageproblemer ved dambrugen opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere</p> <p>Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</p> <p>Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</p> <p>Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</p> <p>Ulemper:</p> <p>Ingen</p>	<p>Fordele:</p> <p>Stabile produktionsforhold</p> <p>Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres</p> <p>Øget effekt af renseforanstaltninger</p> <p>Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</p> <p>Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet</p> <p>Reduceret smittepres</p> <p>Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</p> <p>Bedre arbejdsmiljø</p> <p>Ulemper:</p> <p>Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</p> <p>Øget udledning af CO₂</p> <p>Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</p> <p>Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</p> <p>Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</p>

Dokumentations- og monitoringsprojekt følges af en følgegruppe bestående af:

Niels Axel Nielsen, Fmd., direktør for Myndighedsbetjening og Sektorudvikling DTU (tidl.: direktør Danmarks Fiskeriundersøgelser)

Torben Moth Iversen, projektchef DMU, Århus Universitet (tidl. vicedirektør DMU)

Mette Selchau, Fødevareministeriet; erstattede august 2007 Knud Larsen, Fødevareministeriet

Thomas Bjerre Larsen, Miljøstyrelsen; erstattede august 2007 Gitte Larsen, Skov- og Naturstyrelsen

Henrik Haarh, Direktoratet for FødevareErhverv; erstattede januar 2007 Lars Christensen Clink, Direktoratet for FødevareErhverv

Jens Ole Frier, Ålborg Universitet

Jacob Larsen, Holstebro Kommune (tidl.: Ringkjøbing Amt)

Lenny Stolborg, Ikast-Brande Kommune; erstattede januar 2007 Henning Christiansen, Ribe Amt

Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur

Helge A. Thomsen, forskningschef DTU-AQUA (tidl.: Danmarks Fiskeriundersøgelser)

samt Per Bovbjerg Pedersen, sektionschef DTU-AQUA (tidl.: Danmarks Fiskeriundersøgelser) og Lars M. Svendsen, projektchef Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet.

I juni 2008 udgives en samlet faglig rapport, der kommer med en samlet status og konklusioner over 1. års drift og målinger på de 8 modeldambrug. Heri foretages sammenligninger på tværs af dambrugene og gives nogle anbefalinger. Nærværende statusrapport indeholder derimod alene målinger for Tvilho Dambrug.

Sluttelig skal der lyde en stor tak til alle andre involverede personer, institutioner m.v. som på hver sin vis har bidraget i det store arbejde. Specifikt takkes dambrugsejer Jens Ludvigsen og desuden Erik Jensen samt teknisk personale ved DMU, Århus Universitet: Uffe Mensberg, Henrik Stenholt, Ane Kjeldgaard, Zdenek Gavor, Marlene Jessen og Carsten Nielsen og ved DTU-AQUA (DFU): Tommy Nielsen, Peter Faber, Torben Filt Jensen, Ole Madvig Larsen, Jesper Knudsen, Milan Pavlovic og Erik Poulsen.

2 Beskrivelse af dambruget

2.1 Indretning

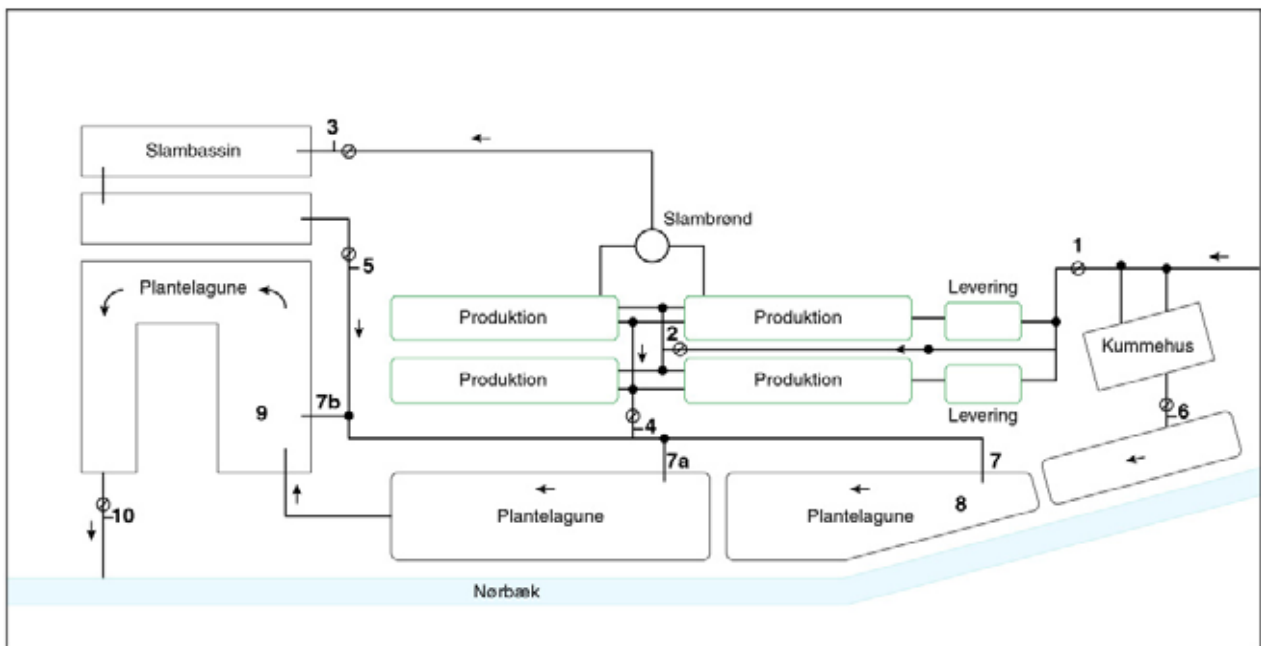
Tvilho Dambrug er beliggende ved vandløbet Nørrebæk i det sydlige Jylland (Tvilhovej 7, 6752 Glejbjerg). Nørrebæk er en del af Sneum Å-systemet, der har udløb i Vadehavet og et samlet opland på ca. 513 km². Ved dambruget er medianminimumvandføringen angivet til ca. 150 l/s (*Ribe Amt, 2004*).

Dambruget er indrettet som et modeldambrug type III (*Pedersen et. al., 2003*).

Dambruget består af 4 ens opbyggede produktionsenheder, der hver er underopdelt i 2 sektioner. I hver enhed ledes en del af det recirkulerede vand igennem et biofilter, der er opdelt i 2 sektioner. Andelen af det recirkulerende vand, der ledes gennem biofiltret kan reguleres, således gennemstrømningshastigheden kan tilpasses. Derudover er der leveredamme samt kummehuse til yngel og sættefisk. Figur 1 er en principskitse af dambrugets opbygning med angivelse af vandflow.

Vandet cirkulerer i produktionsenhederne ved at den beluftning som tilfører ilt til vandet også løfter dette nogle centimeter. Beluftningen sker i nogle brønde. Slam opsamles i pyramideformede slamkegler i bunden af produktionsenhederne og pumpes sammen med skyllevand fra biofiltrene op i et slambassin. Dette slambassin er forbundet til et andet slambassin, adskilt af en tærskel. Slamvand løber fra nedstrøms slambassin til plantelagunen (punkt 7 b i figur 1). Endvidere ledes afløbsvand fra produktionsenheder (første måleår ved punkt 7 a, men fra slutningen af første måleår ved punkt 7) og vand fra kummehusene til plantelagunen hvorfra det løber i åen. Plantelagunen består delvist af oprindelige kanaler og bundfældningsbassiner.

Hver produktionsenhed er 45 meter lang og 8 meter bred, og har en vanddybde på ca. 1,0 meter. Plantelagunen har et areal på 1.375 m² og en middeldybde på 1,0 m, hvilket er 0,1 m mere end max. dybden foreskrevet i *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*. Totalt har dambruget et vandvolumen på 3.045 m³. Med et vandindtag på gennemsnitligt 17,6 l/sek. i det første måleår og 15,5 i det andet (jf. kap 5) har vandets opholdstid på dambruget i gennemsnit været 48 hhv. 55 timer. Opholdstiden for produktionsanlæggene inkl. leveredamme har tilsvarende været ca. 26 hhv. 30 timer mod en forudsat minimumsopholdstid på 18,5 timer i produktionsanlægget for modeldambrug type III (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*).



2.2 Måleprogram og måleperiode

Efter en kort indkøringsfase startede måleprogrammet på Tvilho Dambrug som en del af forsøgsordningen officielt den 25. april 2005. Første måleår er derfor fra 25. april 2005 til 24. april 2006 begge dage inklusive, og 2. måleår tilsvarende er fra 25. april 2006 til 24. april 2007.

I hele måleperioden har der kontinuert (hvert 10. minut) været målt vandmængde, vandhastighed, vandstand, nedbør, temperatur, ilt, pH ved et eller flere målepunkter på dambruget (tabel 1). De instrumenter som måler kontinuert er typisk tilsluttet en datalogger, hvorfra data overføres til en PC som er placeret på dambruget. Data overføres via Internettet fra Pc'en til DTU-AQUA og lægges ind i en fælles database som DTU-AQUA og DMU anvender i projektet. Vandmængder måles i de fleste målepunkter med et elektronisk vandur. I udløbet er der målt med vandur, da det samlede udløb fra dambruget sker via et rør. Vandstand måles i slambassinerne med en infrarød måler. I *Svendsen & Pedersen (2004)* findes flere informationer om baggrund og krav til måleprogram og en række tekniske detaljer.

Nr.	Sted på dambruget	Målevariabel
	2 boringer: vandindtag til kummehus	K, F
1	Vandindtag før leveredamme	F
2	Vandindtag produktionsanlæg	K, F, S
3	Indløb slambassin	K, F, V
4	Udløb produktionsanlæg	K, F,
5	Udløb klaret slamvand	K, F
6	Returskyl yngel og sættefisk	K, F, S
7	Samlet tilløb plantelagune	S
8	Plantelagune, start	
9	Plantelagune, midt	S
10	Udløb plantelagune/dambrug	K, F, S

Tabel 1 Oversigt over målepunkter på Tvilho Dambrug. Tallene til højere refererer til det konkrete målepunkt på figur 1. Der anvendt følgende forkortelser: K= prøvetagning for kemiske analyser; F = vandmængde; H = vandhastighed; V = vandstand og S = llt, pH og temperatur. Bemærk at i første måler udledes vand fra de 4 produktionsenheder ved punkt 7a, dette blev flyttet til punkt 7i slutning af det første måleår.

Vandkemiske prøver er for indtagstvånd målt som en punktprøve (øjebliksprøve) ca. 1 gang pr. måned eller 15 gange i første og 12 gange i andet måleår. Vandindtaget består af 2 boringer i forskellige dybder. Der tages prøver af begge da jernindholdet i den ene boring er væsentlig lavere end i den anden. Vandkemiske prøver fra produktionsenhederne (samlet), afløb leveredamme, kummehuse (samlet) og i klaringsvandet fra slambassiner samt afløbet fra plantelagunerne (samlet afløb fra dambruget) udtages hver 14. dag med en ISCO-glacier vandprøvetager. En prøve består af en puljet prøve over et døgn, hvor 100 ml delprøve udtages hvert kvarter til i alt 9,6 l prøve på et døgn. Prøverne står koldt (4° C) og mørkt i prøvetageren. Ved hvert målested er der målt i alt 27 gange i begge måleår.

Herudover er der hver 14. dag taget vandkemiske prøver i forbindelse med henholdsvis tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre i de fire produktionsenheder, idet der ikke skelnes mellem hvilken af de fire produktionsenheder, der er tale om. Her tages også puljede prøver men delprøver er i 1 liter flasker, hvorfra der puljes. Afhængigt af hvor lang tid det tager at tømme slamkegler og returskylle biofiltre tages en række hyppige delprøver for repræsentativt at dække hele tidsperioden. Disse prøver tages med en ISCO 6712-1 vandprøvetager, hvori prøverne også står koldt (4° C) og mørkt.

De vandkemiske prøver er analyseret for en række kemiske variable fastlagt i *Bekendtgørelsen om modeldambrug (2002)*. Det fremgår af tabel 2, hvilke variable der analyseres for afhængigt af om der er tale om vandprøver taget i indtagstvåndet (grundvand), slamvand (ved tømning af slamkegler, returskylning af biofiltre), afløb slambassin eller i produktionsanlæg og afløb fra dambruget. Analyserne er gennemført af akkrediteret laboratorium efter de standardanalysemetoder, der er foreskrevet ift. dambrug, herunder modificeret BI₅.

Parametre	Program A	Program B	Program C
	Fuld pakke: Udløb fra dambrug, op- og nedstrøms biofilter, afløb sættefiskanlæg og leve-redamme	Grundvand (indtagsvand)	Returskylning biofiltre, tømning slamkegler, afløb slambassiner
Suspenderet stof (SS)	x	(x)	x
Modificeret BI ₅	x	(x)	x
COD	x	(x)	x
Total fosfor (P)	x	[x]	x
Orthofosfat-P	x	x	x
Total kvælstof (N)	x	[x]	x
Nitrat-nitrit-N	x	x	x
Ammonium-N	x	(x)	x

Tabel 2 Vandkemiske parametre der analyseres for på de vandprøver, der er udtaget på Tvilho Dambrug. x i parentes angiver at disse parametre, efter at være målt nogle gange, kun måles 2-3 gange om året, hvis det viser sig at værdien konsekvent er under detektionsgrænsen. x i kantet parentes angiver at total kvælstof henholdsvis total fosfor ikke måles hver gang, hvis der ikke er signifikant forskel på totalen ift. de opløste fraktioner af henholdsvis kvælstof og fosfor. BI₅ er et målt for let omsætteligt organisk stof (biologisk iltforbrug over 5 dage). COD er et mere omfattende mål for organisk stof, da det er et mål for det kemiske iltbehov til at omsætte det organiske stof. Ammoniumkoncentrationen er primært NH₄-N.

Ved de målepunkter, hvor der udtages vandkemiske prøver måles hver 14. dag ilt, temperatur og pH med håndholdte præcisionsinstrumenter, som også anvendes ved kalibrering af de kontinuerede måleinstrumenter for ilt, temperatur og pH.

2.3 Væsentlige vilkår

I henhold til dambrugets miljøgodkendelse af 22. juni 2004 må der i forsøgsperioden anvendes 127,2 tons foder pr. år. Foderkvotienten må ikke overstige 0,9 kg foder pr. produceret kg for konsumfisk samt 0,85 for sættefisk og 0,7 for yngel. Der må maksimalt udfodres 500 kg foder pr. døgn.

Miljøgodkendelsen angiver det maksimalt tilladelige vandforbrug til 17 l/s (*Ribe Amt, 2006*) Vandet skal primært indvindes fra borer, og må kun i nødstilfælde indvindes fra det tilstødende vandløb Nørrebæk.

Udlederkravene, der i forsøgsperioden er fastlagt som en koncentrationsforøgelse ift. til koncentrationen i dambrugets indløb, og er sat til følgende:

- Suspenderet stof: 10,0 mg/l
- BI₅: 7,0 mg/l
- Total fosfor: 0,5 mg/l
- Ammonium-N (NH₄-N): 1,0 mg/l
- Total kvælstof: 6,0 mg/l

Ved vurdering af om kravene er overholdt anvendes tilstandskontrol for alle fem parametre og med reglerne i DS2399.

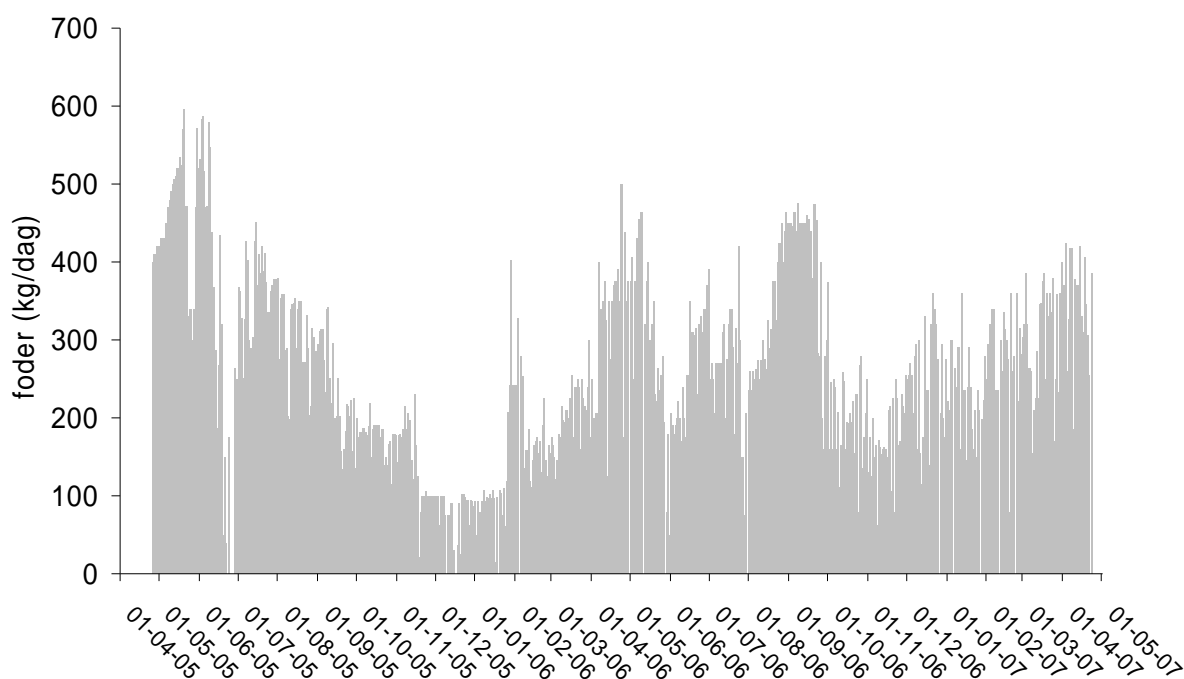
Det fremgår ikke klart af miljøgodkendelsen hvor mange m² plantelagune fodertildelingen forudsætter, men det beskrives at der etableres ca. 1.800 m² plantelagune.

3 Drift og produktion

3.1 Foderforbrug, produktion og foderkvotient

På Tvilho Dambrug blev der i første måleår, dvs. perioden 25. april 2005 til 2. april 2006, anvendt 86,4 tons foder i dambrugets tre produktionsanlæg, mens der i andet måleår 25. april 2006 til 24. april 2007 blev anvendt 95,7 tons foder. Hertil kommer et foderforbrug i dambrugets klækkehus på ca. 6,4 tons i første måleår og 10,5 tons i andet måleår. Det daglige foderforbrug fremgår af figur 2.

Dambruget har jf. miljøgodkendelsen tilladelse til at bruge 127,2 tons foder pr. år på hele dambruget. Grunden til det begrænsede foderforbrug er især, at man i første måleår havde en del sygdomsproblemer, og selv om disse problemer efterhånden blev reduceret, mistede man i 2. måleår (sommeren 2006) ca. 10 tons fisk efter at have saltbehandlet ørrederne pga. angreb af fiskedråber. Det er ikke klart, hvilke specifikke omstændigheder, der skabte den store dødelighed. Da man har det princip på dambruget, at man ikke vil indkøbe sættefisk fra andre dambrug grundet risiko for indførsel af sygdomme, har man ikke kunnet oppebære en tilstrækkelig fiskemængde til fuldt ud at udnytte den tilladte foderkvote.



Figur 2 Det samlede foderforbrug i Tvilho Dambrugs udendørs produktionsanlæg i begge måleår.

Til trods for en stor fiskedødelighed i sommeren 2006, og en ikke helt udnyttet foderkvote i andet måleår, har man løbende opnået en erfaring

med drift af anlægget som gør, at produktionen i følge dambrugsejeren siden sidst i 2007 er forløbet meget tilfredsstillende.

Det registrerede forbrug af fodertyper og -mængder i dambrugets produktionsanlæg i de to måleår fremgår af tabel 3.

Fodertype	Foderforbrug (kg)	
	1. måleår	2. måleår
Biomar Ecolife 21 (3 og 4,5 mm)		18.586*
Biomar Ecolife 20 (3 og 4,5 mm)		18.797*
Biomar Ecolife 19 (3 og 4,5 mm)	60.838	16.682*
Biomar Ecocostart (2 mm)	5.411	0
Biomar Ecocostart 17 (1,5 mm)	2.012	0
Biofocus Optimal Start (1,1 - 2 mm)	8.171	41.626
Ukendt – estimeret mængde	10.004	0
I alt	86.436	95.691

Tabel 3 Anvendte fodertyper og -mængder i dambrugets produktionsanlæg i de to måleår.

*Tallene for hver af de nævnte fodertyper er estimerede ud fra oplyste leverancer fra Biomar A/S, men summen af de tre tal er som registreret af dambruget. Ecolife 20 er tilsat blodmel ("hæmoglobinmel") og Ecolife 21 er et "flydefoder" – dvs. det holder sig flydende længere tid i vandoverfladen.

Det har ikke været muligt at udregne foderkvotienter på Tvilho Dambrug i andet måleår, idet der ikke i tilstrækkelig grad er registreret ind- og udfiskninger fra de enkelte sektioner i anlægget. I første måleår blev den gennemsnitlige foderkvotient, på et spinkelt statistisk grundlag, udregnet til 0,837 på Tvilho Dambrug. For andet måleår estimeres den gennemsnitlige foderkvotient til 0,850. Dette tal passer ifølge dambrugsejeren godt med dambrugets egne beregninger af foderkvotienten. Samtidig ligger tallet tæt på værdien fra første måleår, men under hidtidige gennemsnitsværdier fra andre undersøgte modeldambrug. Dette sidste harmonerer imidlertid med, at Tvilho Dambrug har relativt mange små fisk i produktionsanlægget udendørs, som generelt har en lavere foderkvotient end større fisk.

3.2 Produktionsbidrag

Udregningen af bidrag af de forskellige stoffer fra fiskeproduktionen (produktionsbidrag) i de tre produktionsanlæg samt sættefiskanlæg er foretaget som beskrevet i (*Pedersen et al., 2003*). Der er udregnet produktionsbidrag for COD (total organisk stof), BI₅ (letomsætteligt organisk stof), total-N (total kvælstof), total-P (total fosfor) og opløst kvælstof, som overvejende forekommer som NH₄⁺-N (ammoniumkvælstof).

Produktionsbidragene er blevet reviderede i forhold til de tal som er rapporteret i 1. års statusrapport. Det gennemsnitlige indhold af kvælstof (total-N) og fosfor (total-P) i hel regnbueørred er nemlig blevet revideret på baggrund af resultater som omfatter den seneste litteratur indenfor området (se bilag i faglige samlerapport). Således sættes kvælstofindholdet i hel fisk nu til 2,75 % af fiskens totale vådvægt, og fosfor-

indholdet til 0,43 %. De tidligere anvendte værdier var henholdsvis 3 % og 0,5 %. Litteraturgennemgang har vist, at indholdet af kvælstof og fosfor i regnbueørred påvirkes af fiskens størrelse, men at størrelseseffekten er lille. Dette gælder især indenfor de fiskestørrelser (300-800 g), der normalt produceres i modeldambruget. Der er derfor ikke taget højde for konkrete fiskestørrelser i udregningen af produktionsbidrag for kvælstof og fosfor. Samlet betyder justeringerne en mindre stigning i produktionsbidragene af kvælstof og fosfor i forhold til de anvendte værdier i førsteårsrapporten (Svendsen *et al.*, 2006).

Produktionsbidragene af organisk stof (COD og BI₅) er også blevet reguleret og opjusteret i forhold til førsteårsrapporten. Årsagen er nye data for det stofbidrag og -tab, der sker direkte til vandfasen enten som opløst eller finpartikulært stof. Der er udført nye undersøgelser på disse tab for den mest anvendte fodertype fra hver af foderproducenterne Aller Aqua, Biomar og Dana Feed (se detaljer i faglig samlerapport).

Det bemærkes, at dette tab ikke kan forventes at være permanent for de anvendte fodertyper, da fiskefoder løbende udvikles og ændres med hensyn til råvarer og sammensætning, og disse forhold vil have betydning for produktionsbidraget og dets fordeling på hhv. partikulær og opløst form.

Udover total-kvælstof bidraget fra fiskeproduktionen udregnes også bidraget af opløst kvælstof som udskilles primært over fiskenes gæller (hovedsageligt NH₄⁺-N). Bidraget svarer til den totale mængde kvælstof, som fiskene indtager fradraget det kvælstof, der indbygges i fisken og det kvælstof der udskilles via fækalier:

kg N udskilt som opløst (NH₄⁺-N) =

kg N indtaget – kg N indbygget i fisk – kg N udskilt via fækalier som partikulært/opløst

Udregningen af produktionsbidrag er sket på dagsbasis i hver af dambrugets otte sektioner i produktionsanlægget, og bidragene er herefter summerede. Udover de konkrete foder mængder er foderets kemiske sammensætning inddraget i udregningerne. Kemisk analyse er foretaget på næsten alle foderleveringer (batches), men hvor disse værdier ikke foreligger, er der anvendt gennemsnitstal for de allerede analyserede fodertyper. I få tilfælde, hvor der ikke er foretaget kemisk analyse på fodertypen på grund af små leverancer, er der anvendt deklarerede værdier fra foderproducenterne.

I kummehuset (yngelanlægget), som kun indgår sekundært i måleprogrammet, er produktionsbidraget beregnet ud fra det samlede foderforbrug over hele måleåret og et estimeret gennemsnit af foderkemien. I forbindelse med levering er der beregnet et produktionsbidrag af kvælstof på baggrund af generelle tal for stofomsætning hos fodertomme regnbueørreder. Der vurderes kun at være et marginalt bidrag af organisk stof (COD og BI₅) herfra, idet dette forventes udskilt som kuldioxid (CO₂). Ligeledes forventes kun et marginalt bidrag af fosfor i forbindelse med levering, hvorfor bidraget af COD, BI₅ og total fosfor fra leveredamme er sat til 0.

Produktionsbidraget af forskellige stoffer over de to måleår er opsummeret i tabel 4.

Måleår	COD	Mod. BI ₅	Tot-N	NH ₄ ⁺ -N	Tot-P	Bidraget kommer fra
1	20.169	7.059	3.705	2.977	532	produktionsanlægget
2	23.940	8.379	4.153	3.393	488	produktionsanlægget
1	0	0	47	44	0	i forbindelse med levering
2	0	0	51	48	0	i forbindelse med levering
1	1.638	573	229	187	34	Kummehuset
2	2.692	942	377	307	56	Kummehuset

Tabel 4 Produktionsbidrag (kg pr. år) fra de enkelte kilder for hvert af de to måleår på Tvilho Dambrug.

Som led i udregningen af produktionsbidrag udføres der fordøjelighedsforsøg på en række af de mest anvendte fodertyper og foderleverancer (batches) til dambrugene i projektet. Princippet i disse kontrollerede forsøg er at undersøge hvor stor en del af det indtagne foder og specifikke fedt-, protein- og kulhydrat-indhold i foderet, der udskilles via fækalier. Disse værdier er indsat i beregningerne af produktionsbidrag for den relevante batch. Hvis batchen ikke er undersøgt mht. fordøjelighed, er der anvendt gennemsnitstal for den relevante fodertype. I enkelte tilfælde, f.eks. i forbindelse med leveringer af små foder-mængder, er der anvendt estimerede værdier for fordøjelighed af foderet. Fordøjeligheden af træstof er i alle tilfælde sat til 0.

I andet måleår er der udført fordøjelighedsforsøg på én af de anvendte foderleverancer (batches) til Tvilho Dambrug. Over begge måleår er der dermed udført forsøg på fem forskellige foderleverancer til dambruget.

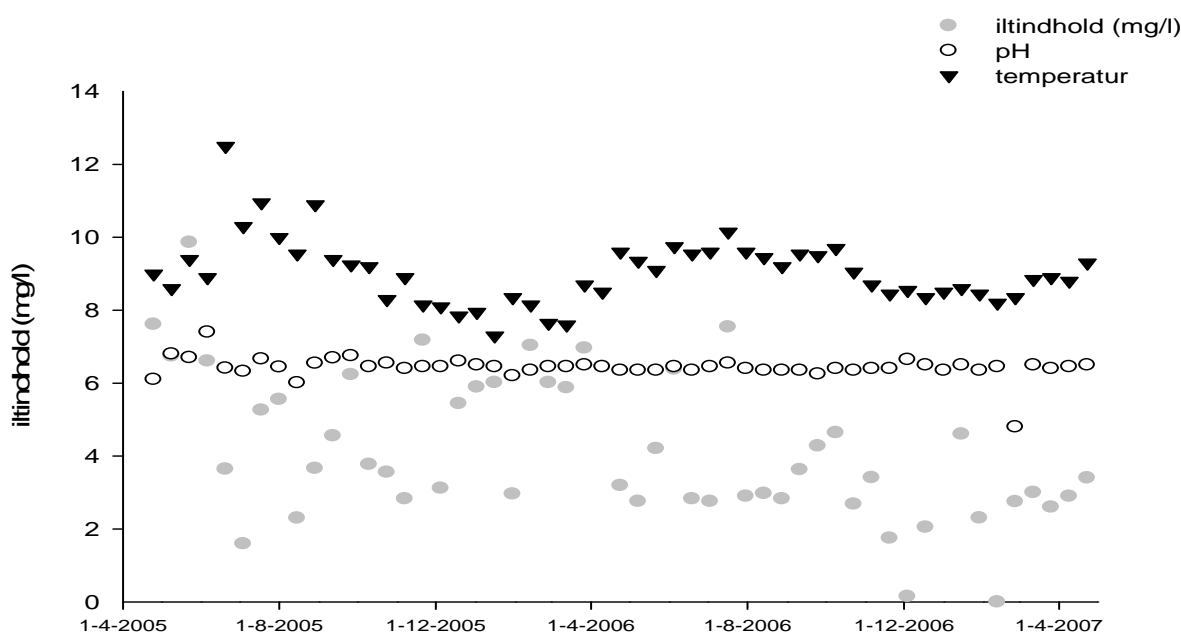
I maj-juni 2006 (dvs. i andet måleår) blev der foretaget undersøgelser af foderspild på Tvilho Dambrug (Thomsen & Andersen, 2006). Over 12 dage blev eventuelt foderspild undersøgt ved nedsænkning af fintmasket net lige før slamkeglerne i en af opdrætskummerne. Der blev både udført forsøg med almindeligt synkende foder og "flydefoder", som er kendetegnet ved længere opholdstid i vandoverfladen. Der blev ikke ved nogen af disse forsøg fundet væsentligt foderspild, idet der ikke på noget tidspunkt kunne konstateres foderspild på mere end 0,05 % af den udfodrede foder-mængde. På baggrund af disse undersøgelser vurderes det, at der under normale driftsforhold på Tvilho Dambrug ikke er foderspild af nævneværdig betydning for produktionsbidraget. Omvendt ved man, at foderspild kan forekomme på dambrug, f.eks. ved løst indstillede foderautomater eller hvis fiskene har nedsat appetit som følge af sygdom eller dårlig/varierende vandkvalitet. Det tidligere estimat på gennemsnitligt 1 % foderspild på Tvilho Dambrug fastholdes derfor. Dette begrundes i, at der forekommer et uundgåeligt spild fra fiskefoderet på grund af støv & smuld, samt at der som nævnt undertiden må forventes et mindre foderspild i forbindelse med dambrugsdrift. Dette spild estimeres til i alt 1 %. Resultaterne fra Tvilho dambrug understøttes i øvrigt af foderspildsundersøgelser på andre modeldambrug under projektet, som også indikerer, at der ikke forekommer nævneværdigt foderspild under normal drift af modeldambrugene.

4 Temperatur, pH og ilt

Der er kontinuert (hvert tiende minut) foretaget elektroniske registreringer af temperatur, pH og ilt i produktionsanlægget, i plantelagunen samt i afløbet fra lagunen svarende afløbet fra dambruget før beluftning. Hertil kommer, at der i forbindelse med udtagning af vandprøver hver 14. dag måles temperatur, pH og ilt på dambruget. Dataene indsamles blandt andet med baggrund i lovmæssige krav og for bedre at kunne forklare de processer der foregår på dambruget, som f.eks. omsætning af organisk stof.

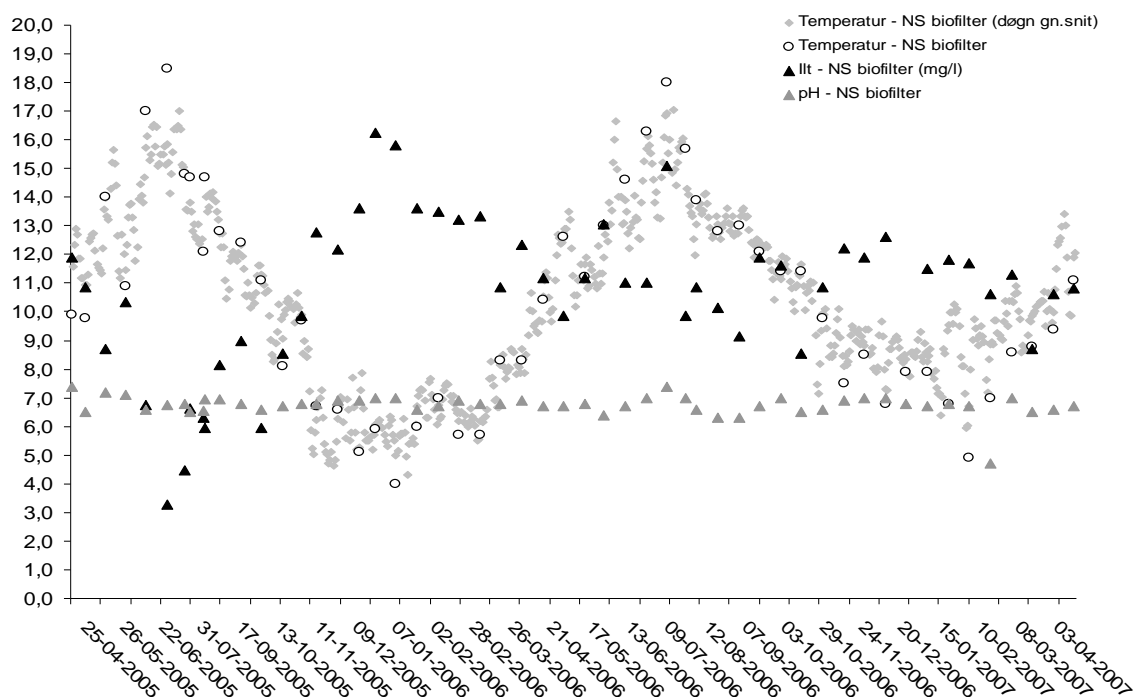
De kontinuerte registreringer har desværre ikke fungeret tilfredsstillende. Især logning af ilt, og til dels pH, har været problematisk, idet sonderne ikke er blevet rengjort tilstrækkelig ofte, og idet de tilsyneladende er relativ følsomme overfor elektronisk støj fra andre kilder. På den baggrund er der kun medtaget kontinuerte målinger for temperatur (omregnet til døgngennemsnit) i dette kapitel. pH- og iltmålinger som er foretaget hver 14. dag med håndholdt instrument er medtaget i stedet for de kontinuerte registreringer.

Figur 3 viser temperatur (°C), pH og ilt for grundvandet (gennemsnitstal for de to borer) som indvindes på Tvilho Dambrug. Figuren viser en stort set konstant pH-værdi og moderate temperaturudsving (7-12 °C) der følger årstiden. Vandets iltindhold svinger en del (0-10 mg/l), men synes faldende over den toårige måleperiode.



Figur 3 Temperatur, pH og ilt målt hver 14. dag i indløbsvandet til produktionen på Tvilho Dambrug.

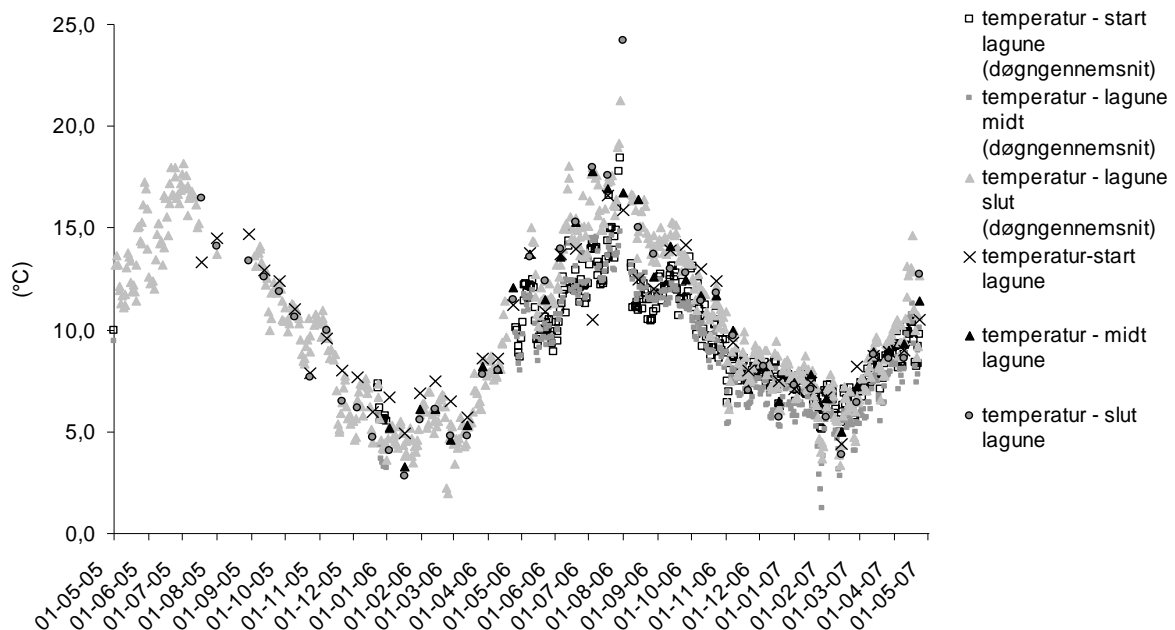
I figur 4 er vist data fra dambrugets produktionsanlæg nedstrøms biofiltret i produktionsanlægget. På Tvilho Dambrug er der ikke foretaget målinger opstrøms biofilteret.



Figur 4 Ilt, pH og temperatur i produktionsanlægget nedstrøms biofilteret på Tvilho Dambrug i begge måleår.

Af figuren fremgår det, at temperaturen i produktionsanlægget varierer noget, fra omkring 5 °C om vinteren til 16-17 °C om sommeren. Iltindholdet er generelt højt men med faldende tendens frem til efteråret 2006, hvor udfodringen - og dermed fiskenes iltforbrug - aftager. Fra januar 2006 er iltniveauerne faktisk så høje, at vandet synes overmættet med ilt. Dette skal ses i lyset af, at det er en periode med lav udfodring og vandtemperatur. Begge forhold giver et lille iltforbrug. Vandets pH-værdi ændrer sig ikke signifikant over måleperioden. Værdien på 4,7 målt i februar 2007 formodes fejlbehæftet. Med denne værdi udeladt er pH i gennemsnit 6,8 over måleperioden.

Vandtemperaturen i plantelagunen er vist i figur 5 for begge måleår. Der er angivet kontinuert målte temperaturer (udregnet som døgn gennemsnit) i indløbet til lagunen ("start lagune"), i lagunemidten samt i det sidste afsnit i lagunen inden beluftning af vandet ("lagune slut"). Endvidere er der angivet manuelle målinger foretaget hver 14. dag på de samme stationer. Generelt er der kun små afvigelser i temperaturen imellem stationerne og der kan dermed ikke konstateres nogen signifikant temperaturændring gennem plantelagunen.

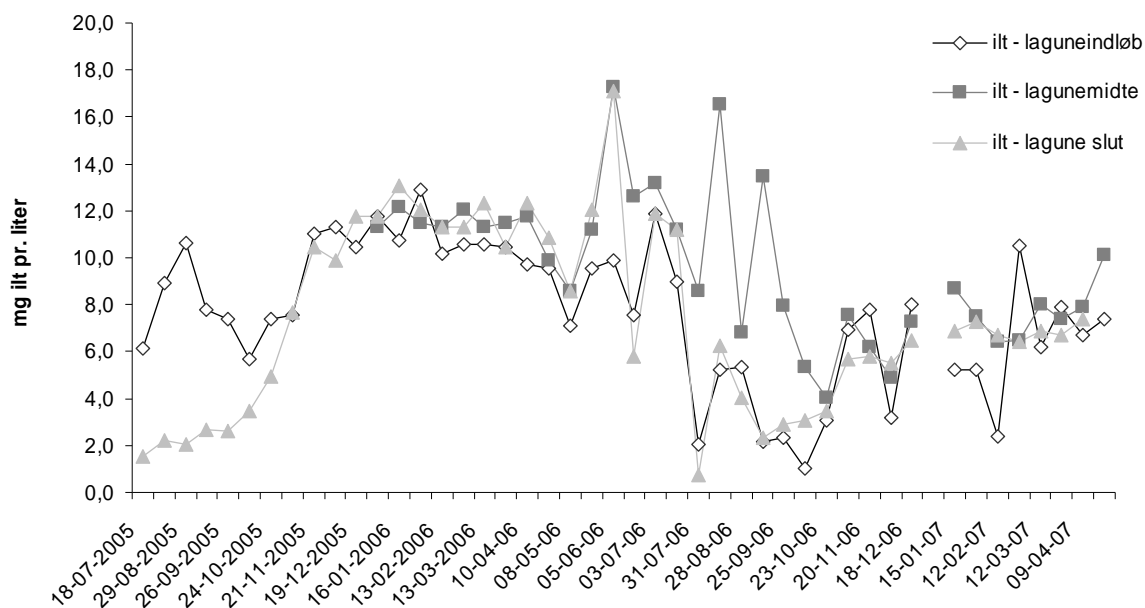


Figur 5 Vandtemperaturen i plantelagunen på Tvilho Dambrug i begge måleår. Der er målt kontinuerligt (døgngennemsnit) og hver 14. dag på forskellige stationer, som angivet i figuren.

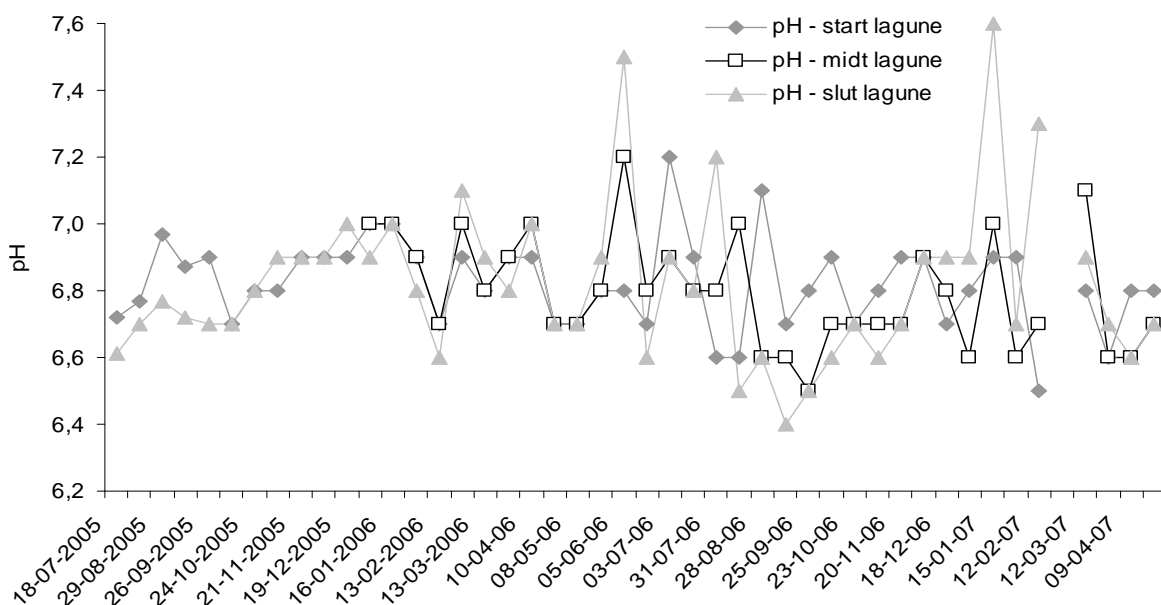
Iltindholdet i plantelagunen (figur 6) varierer med årstiden og er lavest i sommerhalvåret, hvor omsætningen af organisk stof og dermed iltforbruget er højest. I figur 6 ses det, at der i sommeren 2005 var en større difference i iltindholdet sammen lignet med sommeren 2006 ned gennem lagunen med et væsentligt lavere indhold i nedstrømsdelen af plantelagunen i forhold til indløbet. Denne forskel er ikke målt i sommeren 2006. Om forskellen på de to år skyldes større iltforbrug i plantelagunen eller forskellig iltproduktion af lagunens planter kan ikke vurderes. I en periode fra midt på sommeren 2006 til hen på efteråret 2006 er iltindholdet højere midt i lagunen end på de to andre stationer, hvilket kan indikere betydelig iltproduktion i plantelagunen.

pH-værdierne i plantelagunen (figur 7) viser generelt mindre variationer imellem stationerne i første del af måleperioden, mens der fra sidst på vinteren 2005-2006 og efterfølgende er større variation i tallene.

Gennemsnitligt er vandet i plantelagunen let forsuret idet pH ligger på 6,8 i gennemsnit på alle tre stationer i lagunen. Dermed er pH i plantelagunen på niveau med pH i produktionsanlægget.



Figur 6 Iltindhold målt hver 14. dag tre forskellige steder i plantelagunen på Tvilho Dambrug.



Figur 7 pH-værdi målt manuelt hver 14. dag tre forskellige steder i plantelagunen på Tvilho Dambrug.

5 Vandflow i dambruget

5.1 Måling af vandflow

Vandflowet bliver registreret kontinuert (hvert 10. minut) 8 steder i dambruget jf. tabel 1 og figur 1. Registreringen sker på alle målestederne ved hjælp af elektromagnetiske flowmålere (vandure), der måler meget nøjagtigt med en usikkerhed på mindre end 1 %. En del af flowmålerne har haft kortere perioder, hvor data er gået tabt, enten på grund af kabelbrud, fejl i datakommunikationen eller i selve måleren. I de pågældende perioder er dataserierne rekonstrueret ved hjælp af interpolation og korrelation til de øvrige målere. Problemerne har medført en mindre forøgelse af usikkerheden, og vurderingen er, at usikkerheden på flowdata er mellem 0 og 5 %.

Afløbet fra produktionsenhederne og slambassinerne var i det meste af første måleår fordelt på 3 udløb (7, 7a og 7b jf. fig. 1). Derfor har hele mængden ikke gennemløbet hele plantelagunen i den periode. Efterfølgende blev rørføringen lavet om, så alt vand fra produktionsenhederne i resten af perioden er ført ud ved 7 (start af plantelagune).

Målested	Navn på målested	Gennemsnitsflow	
		l/s	
		1. måleår	2. måleår
(1+6)	Samlet vandindtag	17,6	15,5
1	Vandindtag før leveredam	15,6	14,9
6	Returskyl kummehus	1,9	0,6
2	Vandindtag til produktionsanlæg	13,4	15,0
4	Udløb produktionsanlæg	13,8	15,5
3	Indløb slambassin	0,4	0,5
5	Udløb klaret slam vand	0,6	0,9
7	Samlet tilløb til plantelagune (4+5+6)	16,3	17,1
10	Udløb plantelagune/dambrug	18,4	19,7

Tabel 5 Vandflow, gennemsnit ved målestederne på Tvilho Dambrug 1. og 2. måleår i l/s.

I tabel 5 findes det gennemsnitlige flow for henholdsvis første og andet måleår. Det samlede vandindtag har i gennemsnit været 17,6 l/s for det første måleår, hvilket er en smule over den tilladte mængde på 17 l/sek. I det andet måleår var indtaget 15,5 l/s. Indtaget sker fra 2 borerer som tager vand i forskellige dybder under terræn, Borererne er placeret i den østlige ende af dambruget.

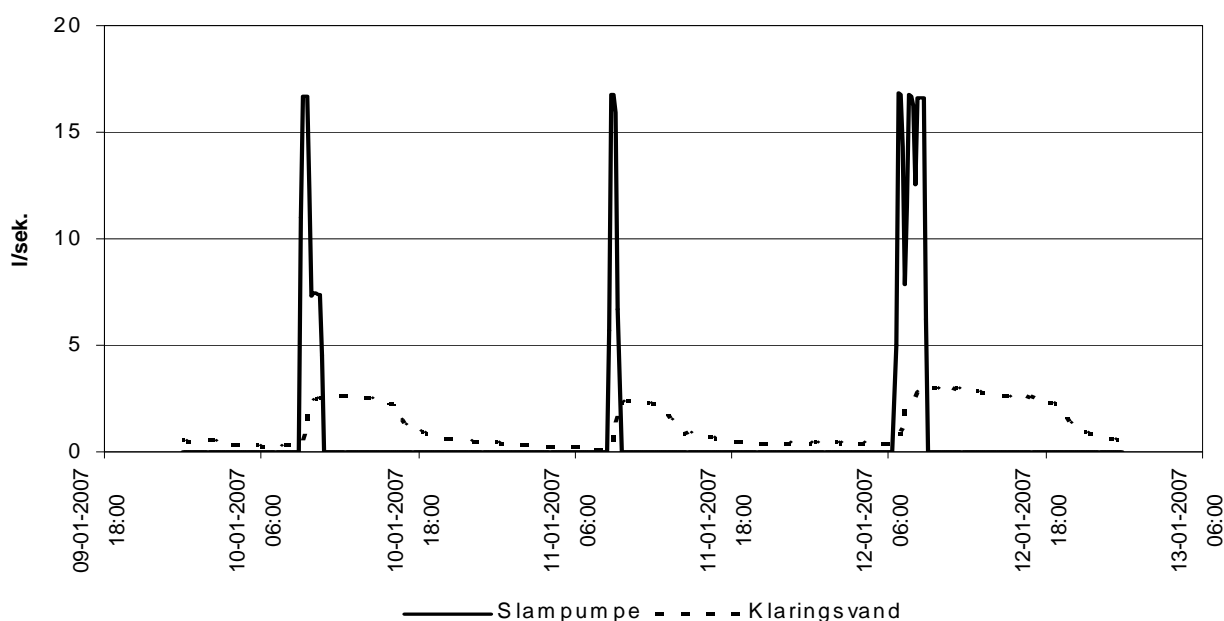
Udløbet fra produktionsenhederne (4) er lidt mindre end indtaget (1) i første måleår og en anelse større i andet måleår. Der bliver ført vand bort fra produktionsenhederne i forbindelse med skylning af filtre og tømning af slamkegler (3), så teoretisk set burde summen af 3 og 4 svare til 1. Dog bliver der brugt en lille vandmængde ved udfiskning og sortering.

Forskellene kan skyldes små utætheder i anlæggenes bund og sider, og at bunden af belufterbrøndene er ikke støbt. Herved vil der kunne ske ud- eller indsigning afhængig af grundvandstanden omkring anlægget. Endvidere er det observeret, at der lejlighedsvis er blevet oppumpet en del af returskyllevandet fra kummehus som muligvis er sendt til produktionsanlægget, men der er ikke målt på dette. Der er ikke målt internt flow i produktionsenhederne, da Tvilho Dambrug har et ekstensivt måleprogram.

5.2 Returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler

For at fjerne partikler bliver slamfælderne (kegler) i bunden af produktionsanlæggene tømt regelmæssigt, og tilsvarende bliver biofiltret (retur)skyllt ved at lukke enheder og belufte kraftigt. Alt slam bliver pumpet til slambassinerne. Slamkeglerne bliver tømt dagligt undtagen søndage over et tidsrum på 15–30 minutter. Returskylning af biofiltrene bliver foretaget i ca. 30–40 minutter om dagen på nær søndage. Afvigelser fra de faste procedurer kan ske i forbindelse med f.eks. flytning af fisk, sygdomsbehandling mv.

Under tømning og skylning pumpes ca. 16 l/s til slambassinerne. Den samlede vandmængde, der bliver anvendt til tømning og skylning er som middel for første måleår opgjort til 0,4 l/s, og 0,5 l/s for andet måleår. Denne mængde svarer til 2,5 – 3 % af det samlede vandindtag til dambruget. Klaringsvandet, der afledes fra slambassinerne til plantelagunen begynder at løbe kort tid efter slampumpningen påbegyndes jf. figur 8. Da der er åbent for afløb fra slambassinet hele tiden øges afløb af klaringsvand umiddelbart efter tilførslen starter, hvilket kan medføre at sedimentation og udfældning i slambassinet ikke bliver helt optimal.

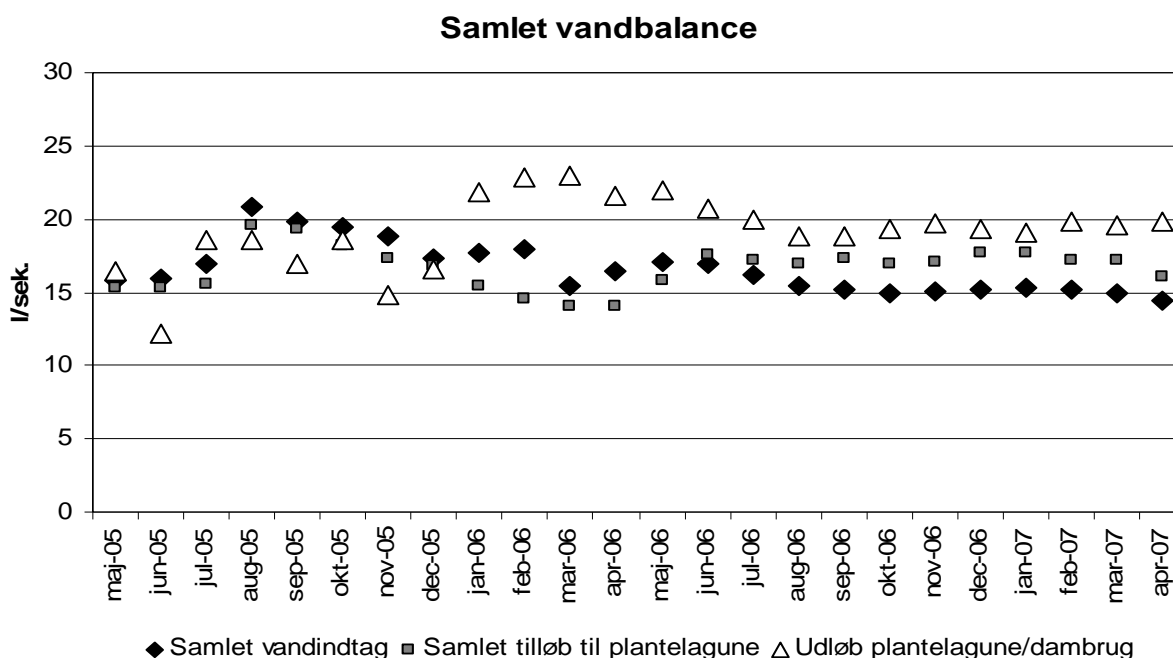


Figur 8. Eksempel på skylning/tømning og afløb af klaringsvand fra slambassiner på Tvilho Dambrug over 3 døgn i januar 2007.

5.3 Vandbalance

Med et samlet vandindtag på 17,6 l/s det første måleår og 15,5 det andet og et samlet tilløb til plantelagunen på henholdsvis 16,3 og 17,1 l/s sker der altså et mindre tab over produktionsanlægget det første måleår, og en forøgelse i det andet. Forskellene er større end måleusikkerheden. Den primære årsag er formodentlig små utætheder i produktionsanlægget og deraf følgende ind- og udsivning, som beskrevet ovenfor. Der faldt væsentlig mere nedbør andet måleår (ca. 40 %) end i det første, så grundvandsstanden har været højere andet måleår med mulighed for indsivning ind i produktionsanlægget og plantelagunen. Yderligere kan den iagttagede returpumpning af skyllevand fra kummehuse medføre en uoverensstemmelse i vandbalancen. Til- og fraførsel i produktionsanlægget grundet nedbør og fordampning har kun en meget ringe betydning for vandbalancen, da det på årsbasis kun vil tilføre hvad der som middel svarer til mindre end 0,1 l/s.

Udløbet fra plantelagunen, og dermed dambrugets samlede afledning til vandløbet, var som middel 18,4 l/s for første måleår og 19,7 for andet år (tabel 5). Det samlede tilløb til plantelagunen var som middel henholdsvis 16,3 l/s og 17,1 l/s. Der kan således beregnes et ekstra tilløb til plantelagunen på henholdsvis 2,1 og 2,6 l/s i de to måleår, svarende til henholdsvis 13 % og 15 % ift. målt tilledning. Der er variationer i løbet af måleperioden, jf. figur 9.



Figur 9 Samlet vandbalance over Tvilho Dambrug, månedsmiddel i l/s

Hvis grundvandstanden afviger fra vandstanden i plantelagunen, vil der kunne ske ud- eller indsivning. Som for produktionsanlægget har nedbør og fordampning fra denne kun ubetydelig indflydelse på vandbalan-

cen over plantelagunen set over et helt måleår. På enkelte dage med kraftigt regnvejr kan der afstrømme mere vand end der løber til plantelagunen. Måleusikkerheden vil maksimalt kunne forklare en forskel på 1 l/s over plantelagunen.

Ved Tvilho Dambrug står grundvandstanden højt og meget nær terræn. Det må derfor konkluderes, at det primært er udveksling med grundvandet, der er årsag til en mindre netto tilstrømning af overfladenært grundvand til plantelagunen. Endvidere har der i perioder med meget nedbør været konstateret indsyning i en gammel bagkanal nord for dambruget, og en del af det indsyvende vand løber videre til plantelagunerne.

5.4 Recirkulationsflow

Recirkulationen bliver drevet af luftpumperne i anlægget, så variationer i flowmængden vil også være en funktion af behovet for iltning. Recirkulationsflowet på Tvilho Dambrug bliver ikke målt, men det vurderes, at strømhastigheden i anlæggene er knap 0,1 m/sek. og flowet derfor kan estimeres til 2-300 l/s i hver produktionsenhed.

Med et gennemsnitligt vandindtag på henholdsvis 13,4 og 15,0 l/s (Q_i) (tabel 5) til produktionsanlægget de to måleår og en skønnet recirkulering i de 4 produktionsenheder på i alt på 800-1200 l/s, (Q_r) betyder det, at recirkulationsgraden kan opgøres til 98-99 %, beregnet som $(Q_r - Q_i)/Q_r$. For modeldambrug type III forudsættes en minimum recirkulationsgrad på 95 %.

5.5 Vandforbrug/fodermængde

Ved at sammenholde det samlede vandindtag med det samlede foderforbrug er det opgjort, at der på Tvilho Dambrug i første måleår er brugt 5.800 liter vand pr. kg foder eller 5.000 liter vand pr. kg produceret fisk. De tilsvarende tal for andet måleår er henholdsvis 4.600 liter vand pr. kg foder eller 3.800 liter vand pr. kg produceret fisk. Dette er en faktor 8-12 lavere end i et traditionelt gennemstrømningsdambrug.

5.6 Hydraulisk belastning af laguner

Baseret på det beregnede areal af plantelagunerne (se kapitel 11) har den gennemsnitlige hydrauliske belastning af plantelagunen været ca. 0,012 l pr. m² plantelagune i både første og andet måleår. Det er dermed knap halvdelen af den forudsatte maksimale belastning på 1 l pr 48 m² plantelagune jf. modeldambrugsbekendtgørelsen (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*).

6 Stofkoncentrationer forskellige steder på dambruget

Dette kapitel gennemgår i lighed med det tilsvarende kapitel i statusrapporten for det første måleår (*Svendsen et al, 2006*) målte stofkoncentrationer beregnet i forskellige målepunkter på Tvilho Dambrug. De forskellige figurer er dog udvidet til at omfatte både første og andet års måleresultater for at vise resultater fra den samlede måleperiode og muliggøre en sammenligning mellem de to måleår i samme graf.

I tabel 6 er beregnet gennemsnitskoncentration for de analyserede, udtagne vandprøver i det andet måleår ved forskellige målestationer på Tvilho Dambrug. Endvidere er angivet spredningen på koncentrationerne for andet måleår. Det giver et billede af, hvordan der tilføres stof ved fiskeproduktionen og hvordan der fjernes stof via slamkegler, biofiltre, slambassin og plantelagune. Det bemærkes at stofkoncentrationerne ved især tømning af slamkegler er meget høje for alle kemiske variable. Skyllevand fra biofiltrene har noget højere koncentrationer end afløbet fra produktionsanlægget, især for BI_5 , COD og suspenderet stof. Koncentrationen af alle stoffer på nær nitrat er meget høje i klaringsvand fra slambassin, med koncentrationsniveauer mellem skyllevand og vand fra slamkegler.

I boringsvandet fra boring 2, der dog kun udgør en mindre del af indtagsvandet, er nitrat kvælstof ca. 10 gange højere end for det jernholdige vand fra boring 1.

Målested St.	$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{NO}_{23}\text{-N}$		Total -N		Ortho-P		Total -P		BI_5		COD		Susp. stof	
	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std
Boring nr. 1 (jernholdige)	0,0	0,0	0,4	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	1,2	0,3	5,5	2,0	1,2	0,5
Boring nr. 2 (mindste indtag)	0,0	0,0	5,1	0,2	5,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,4	7,1	2,1	0,5	0,4
Returskyld af yngel	0,3	0,3	2,1	0,5	3,4	0,9	0,2	0,2	0,5	0,6	4,6	3,6	16,7	14,9	7,8	10,8
Vandindtag til prod. anlæg	0,5	0,3	2,2	0,1	3,4	1,6	0,1	0,0	0,1	0,1	2,0	0,6	8,6	2,5	2,7	2,6
Skyllevand alle biofiltre	0,6	1,0	8,2	2,5	27,5	8,5	0,5	0,3	7,6	3,3	97,6	66,6	400	208	392	216
Slamkegler (alle)	19,1	11,5	2,8	1,2	201	109	42,8	27,4	227	195	3.652	1.668	9.089	4.563	6.969	4.457
Vandafløb prod. anlæg	0,8	0,6	8,4	1,5	10,4	2,7	0,3	0,1	0,3	0,1	3,7	1,0	17,2	7,9	3,0	1,2
Klaringsvand slambassin	15,1	6,8	2,3	2,3	22,6	7,1	3,0	1,9	5,2	1,9	27,7	22,2	96,8	40,1	60,9	28,5
Udløb fra dambrug (år 2)	1,0	0,8	6,8	1,1	8,6	1,6	0,3	0,1	0,4	0,1	3,5	1,2	17,4	7,1	5,5	6,5
Udløb fra dambrug (år 1)	1,3	1,0	5,4	1,2	7,5	2,1	0,3	0,2	0,5	0,2	4,1	2,9	14,6	9,5	7,6	10,3

Tabel 6 Gennemsnitskoncentrationer for kemiske variable forskellige målesteder på Tvilho Dambrug i andet måleår. Nederst i tabellen er til sammenligning indlagt samme værdier for måleår 1 i udløbet.

Spredningen på koncentrationerne over det andet måleår er størst for de høje koncentrationer, dvs. for skyllevand fra biofiltre og vand fra slamkegler samt klaringsvand fra slambassin. Spredningen målt som procent af gennemsnitskoncentrationen (dvs. variationskoefficienten) viser at den største spredning i andet måleår findes for suspenderet stof (75 %)

efterfulgt af ammonium (69 %) og orthofosfat med 54 %. Lavest procentuelle spredning findes for total kvælstof og nitrat med ca. 30 % (tabel 7). Den procentuelle spredning på koncentrationerne for indtagsvandet er lav, som det må forventes (tabel 6).

Sammenlignes gennemsnittet af variationskoefficient ved alle målestationer fra andet måleår med første års resultater ses (tabel 7) at den er væsentlig mindre i det andet måleår for alle kemiske parametre på nær for ammonium kvælstof. På 8 af de 9 målesteder var der en mindre spredning i den procentvise standardafvigelse i det andet måleår sammenlignet med det første. Det indikerer, at anlægget kører mere ensartet og at driften af anlægget er optimeret igennem andet måleår.

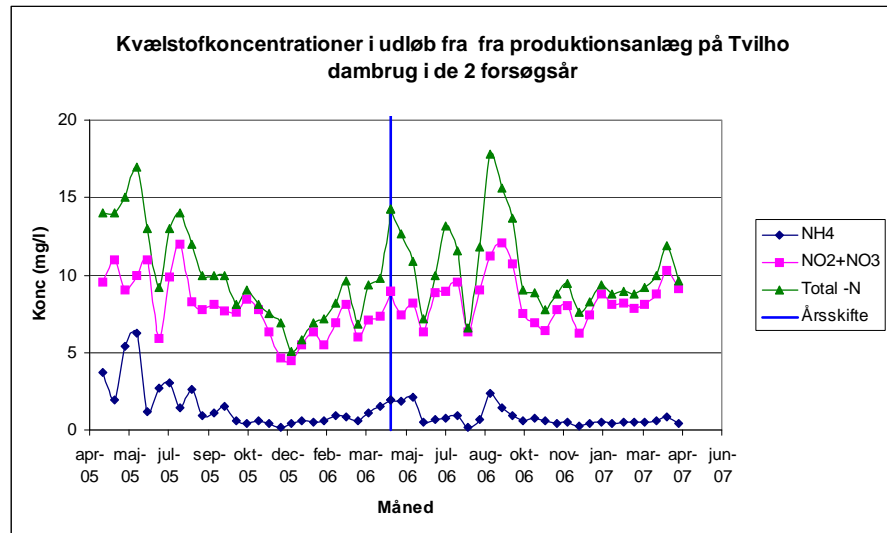
	Susp.	NH ₄ -N	NO ₂₃ -N	Total N	Ortho P	Total P	BI ₅	COD
Std % 1 måleår	84	65	46	38	68	77	61	65
Std % 2 måleår	75	69	30	29	54	52	46	46

Tabel 7 Gennemsnittet ved alle målestationer af variationskoefficienten for kemiske koncentrationer for henholdsvis første og andet måleår for Tvilho Dambrug .

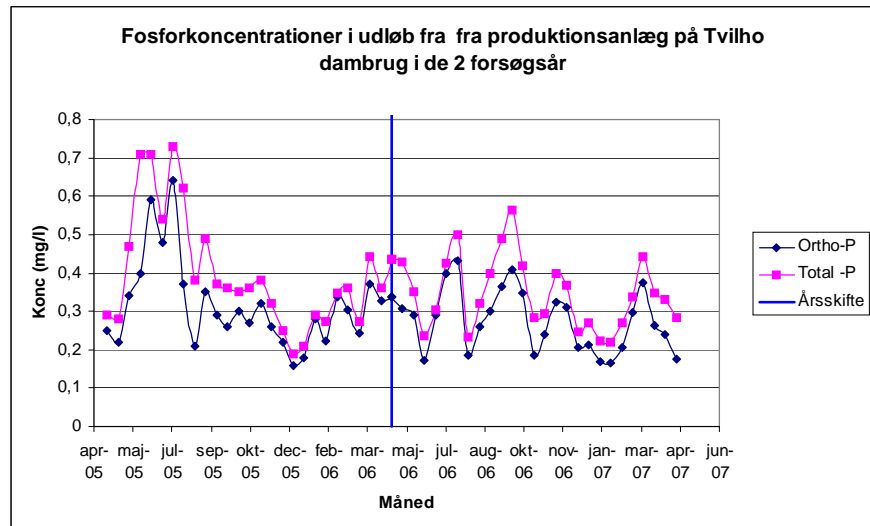
I de efterfølgende figurer vises en række koncentrationsforløb fra målepunkter med udledninger til plantelagunen, dvs. afløbet fra produktionsenhederne og klaringsvandet fra slambassiner for begge måleår. Koncentrationsniveauerne indikerer også, hvordan driften er forløbet over tid.

Udviklingen i kvælstofkomponenterne viser de højeste koncentrationer og størst variation om foråret og sommeren og lavere og mindre varierende koncentrationer i efterår og vinterperioden i begge måleår (figur 10). Det er karakteristisk, at når total kvælstof har høje koncentrationer udgør den partikelbundne del af kvælstof en væsentlig større andel end i den resterende del af måleperioden, hvor hovedparten af total kvælstof er på opløst form som nitrat.

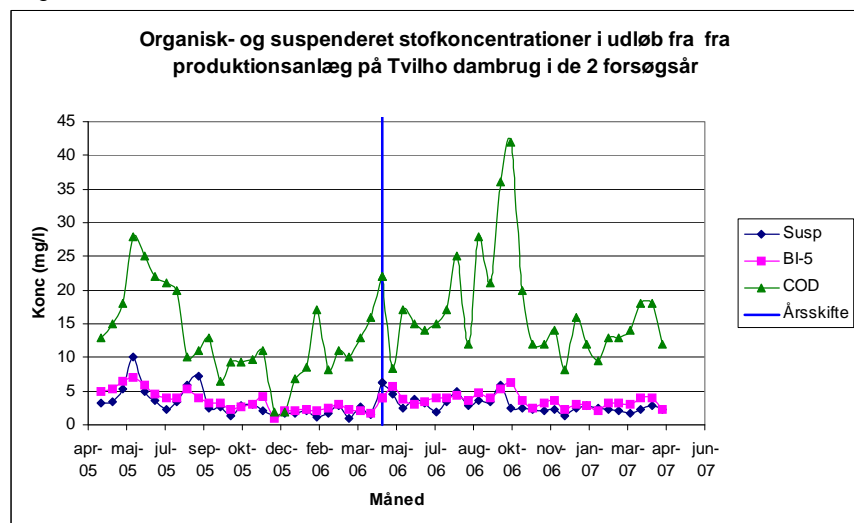
Koncentrationsforløbet for de to målte fosforfraktioner forløber overordnet set ligesom kvælstof, men dog med mindre udpræget koncentrationsforøgelse om sommeren i det andet måleår (figur 11). For det organiske stof er koncentrationsforløbet noget forskellig for henholdsvis BI₅ eller COD (figur 12). COD koncentrationerne følger generelt samme mønster som total kvælstof med høje koncentrationstoppe om sommeren (især i det andet måleår) og et noget lavere koncentrationsniveau om vinteren. BI₅ koncentrationen varierer noget mindre over de to måleår, men har samme tendens som de andre stoffer med højeste koncentrationer i sommerhalvåret.



Figur 10 Udviklingen i koncentration af ammonium, nitrit+nitrat samt total kvælstof i afløbsvand fra produktionsenhederne (nedstrøms biofilter) til plantelagunen for de to måleår på Tvilho Dambrug.



Figur 11 Udviklingen i koncentration af orthofosfat og total fosfor i afløbsvand fra produktionsenhederne (nedstrøms biofilter) til plantelagunen for de to måleår på Tvilho Dambrug.



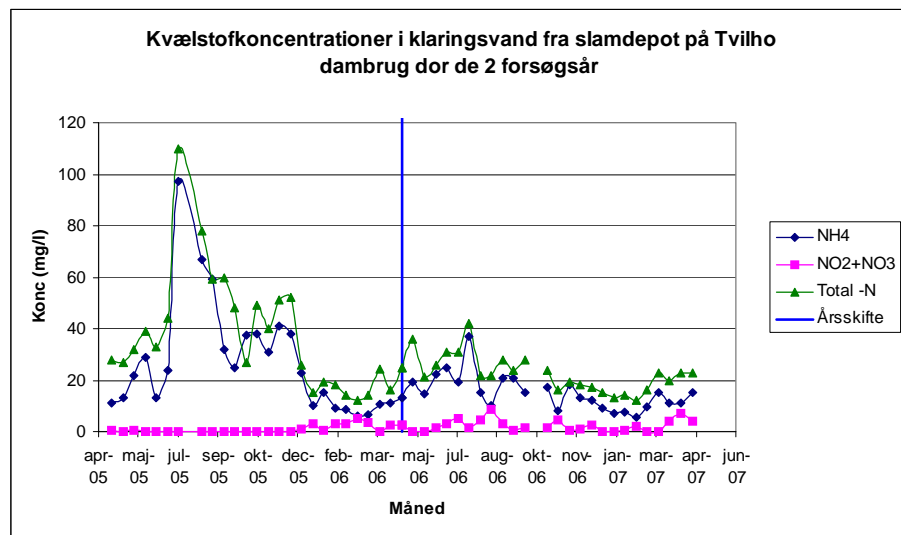
Figur 12 Udviklingen i koncentration af organisk stof målt som BI₅ og COD, og for suspenderet stof i afløbsvand fra produktionsenhederne (nedstrøms biofilter) til plantelagunen for de to måleår på Tvilho Dambrug.

Koncentrationsforholdene i klaringsvandet fra slambassinerne ændres markant fra første til andet måleår for alle målte kemiske parametre (figur 13-15). Således er de meget høje koncentrationer af kvælstof, fosfor og organisk stof i sommerhalvår i første måleår blevet reduceret til 1/5 heraf i andet måleår og variationen i koncentrationerne er ligeledes reduceret. Der er en tendens til lidt lavere koncentrationer i vintermånederne. I klaringsvandet udgør ammonium hovedparten af total kvælstof i modsætning til produktionsanlæggene, hvor det er nitrat-fraktionen, der er den største. I produktionsanlæggenes biofiltre omdannes ammonium til nitrat, mens der i slambassinerne sker en denitrifikation, som dels danner frit kvælstof (N_2), der afgasser og en mindre andel omdannes til ammonium-kvælstof. Koncentrationen af suspenderet stof følger udviklingen i COD-koncentrationen mere end BI_5 -koncentrationen. Dette indikerer, at en del vanskeligt nedbrydeligt organisk materiale overføres til slambassinet fra produktionsenhederne (figur 10-12).

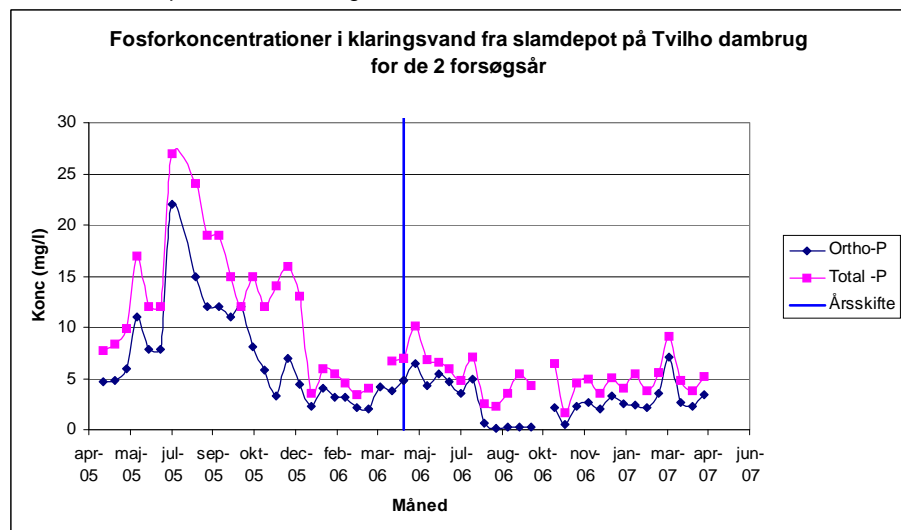
I figur 16-23 vises koncentrationsforløbet for de kemiske parametre i henholdsvis indtagsvandet til produktionen og i afløbet fra plantelagunen (dvs. afløb fra dambruget) for begge måleår. Disse værdier indgår i beregningen af overholdelse af kravværdierne til udledningen til vandløbet (se kapitel 7). Forskellen i de vægtede koncentrationer i det vand der ledes til plantelagunen og i udløbsvandet fra denne, afspejler plantelagunens kapacitet til at omsætte/tilbageholde stoffer. Da der måles en større fraførelse af vand fra plantelagunen end denne modtager, må der ske en vis indsivning til denne, dette vands kemiske sammensætning må antages at ligne indtagsvandets.

Total kvælstof i udløbet fra Tvilho Dambrug har det højeste niveau om sommeren, hvorefter den falder frem til foråret og så stiger på ny. Denne udvikling er især tydelig i andet måleår (figur 18). Hovedparten af total kvælstof optræder på opløst form som ammonium og nitrat+nitrit kvælstof mens partikulært kvælstof (organisk kvælstof) kun udgør en mindre andel. Nitrit-nitrat koncentrationens forløb (hvor langt hovedparten er nitrat) viser samme overordnede tendens som for total kvælstof, om end med mindre udprægede koncentrationstoppe i sommerhalvåret, mens ammonium-koncentrationen delvist er i modfase med koncentrationsforløbet af nitrat-nitrit og total kvælstof i udløbet fra Tvilho Dambrug (figur 16-18). Der sker især et markant fald i ammonium-koncentrationen fra forår til efterår i andet måleår og der er samme tendens i det første måleår. Faldet i ammonium-koncentrationen i afløbet fra dambruget i andet måleår kan skyldes en øget nitrifikation.

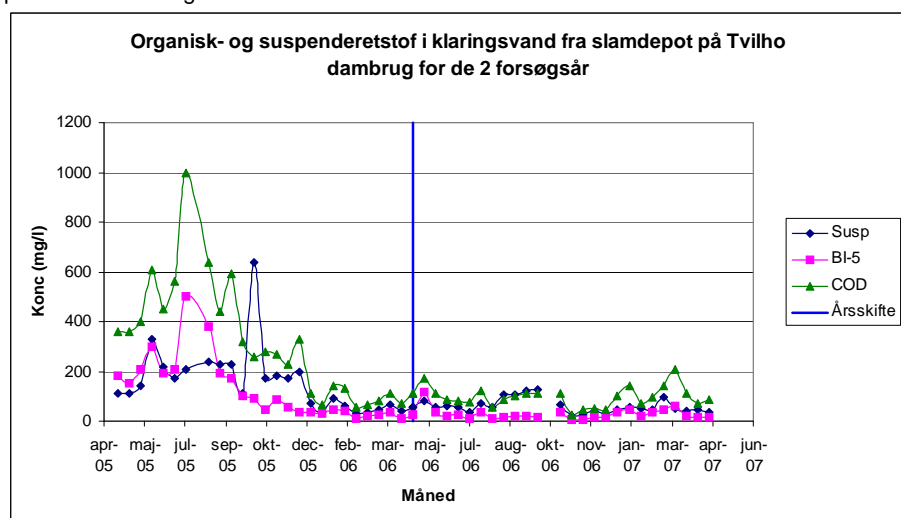
Indtagsvandet stammer fra to borer, én som giver hovedparten af produktionsvandet og hvor koncentrationen er vist i figur 10-12, samt en mindre vandmængde fra et dræn under plantelagunen. Koncentrationen er så godt som ens for de to måleår. Kun for organisk stof udtrykt som COD og BI_5 er der tendens til lidt højere værdier i andet måleår.



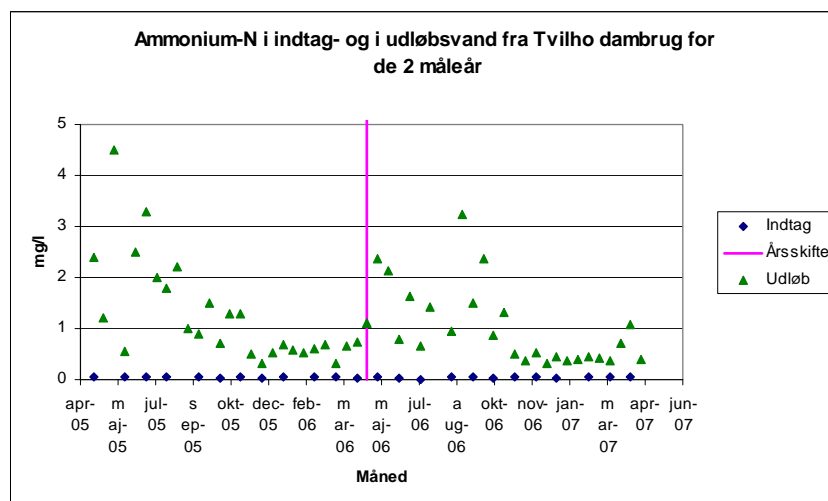
Figur 13 Koncentrationen af ammonium, nitrit+nitrat og total kvælstof i klaringsvandet fra slambassinerne på Tvilho Dambrug i de to måleår.



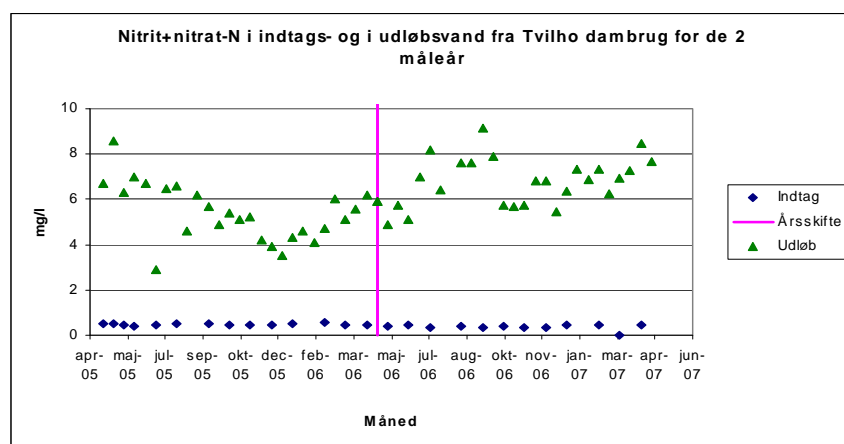
Figur 14 Koncentrationen af orthofosfat og total fosfor i klaringsvandet fra slambassinerne på Tvilho Dambrug i de to måleår.



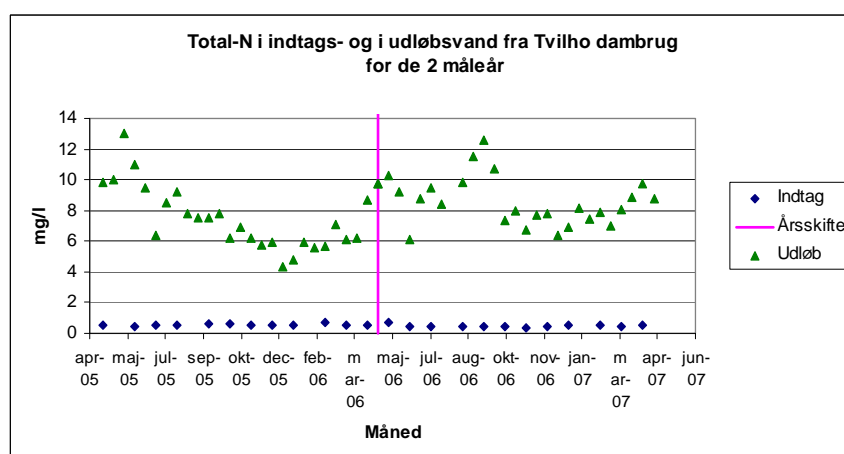
Figur 15 Koncentrationen af organisk stof målt som BI5 og COD og for suspenderet stof i klaringsvandet fra slambassinerne på Tvilho Dambrug i de to måleår.



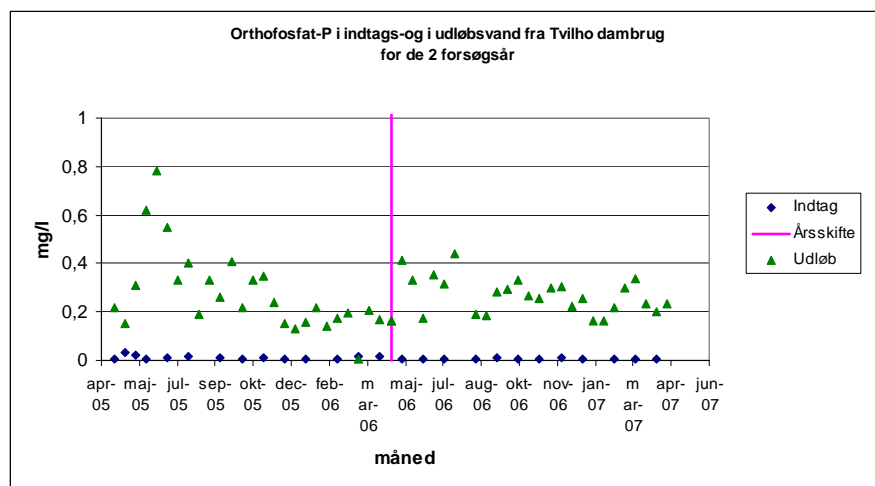
Figur 16 Ammonium kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tvilho Dambrug og i afløbet herfra til Nørrebækken i første og andet måleår.



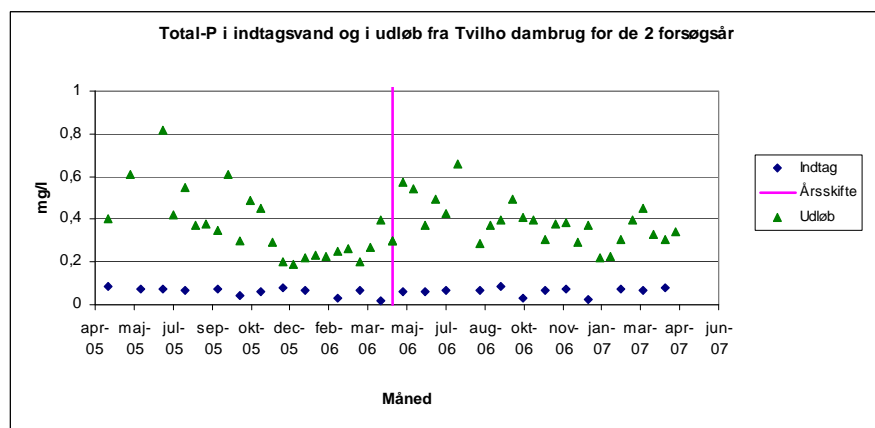
Figur 17 Nitrat+nitrit kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tvilho Dambrug og i afløbet fra dambruget til Nørrebækken i første og andet måleår.



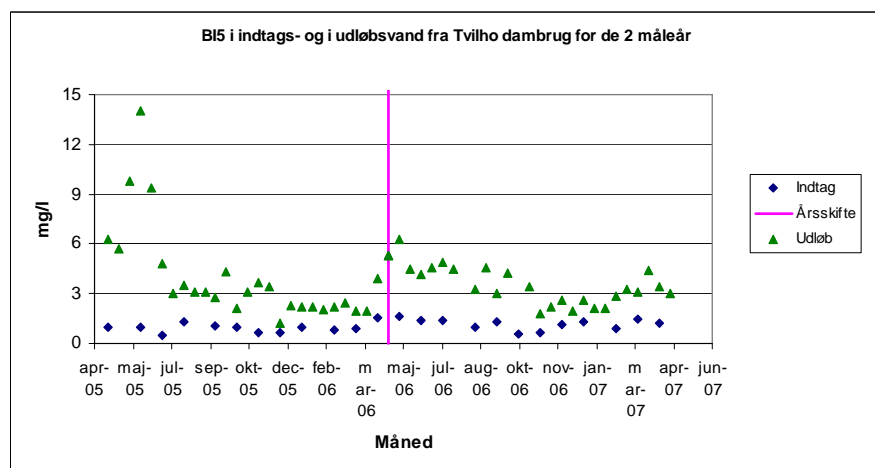
Figur 18 Total kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tvilho Dambrug og i afløbet fra dambruget til Nørrebækken i første og andet måleår.



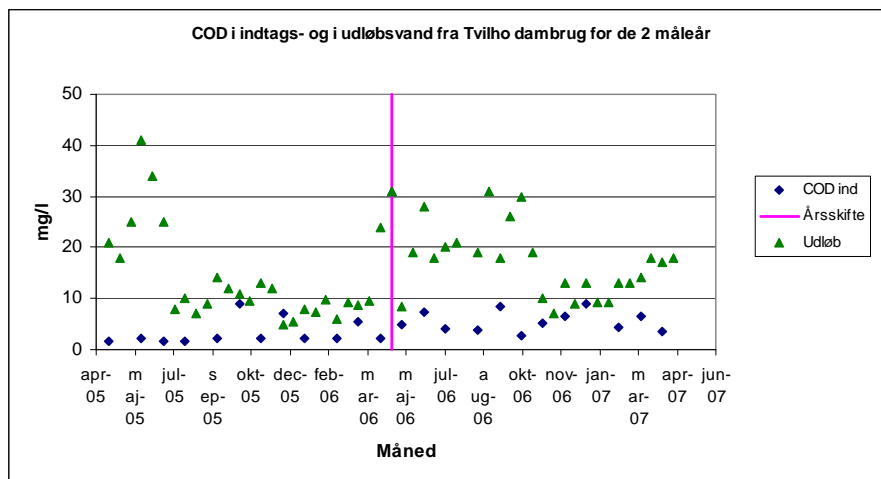
Figur 19 Orthofosfat fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tvilho Dambrug og i afløbet fra dambruget til Nørrebækken i første og andet måleår.



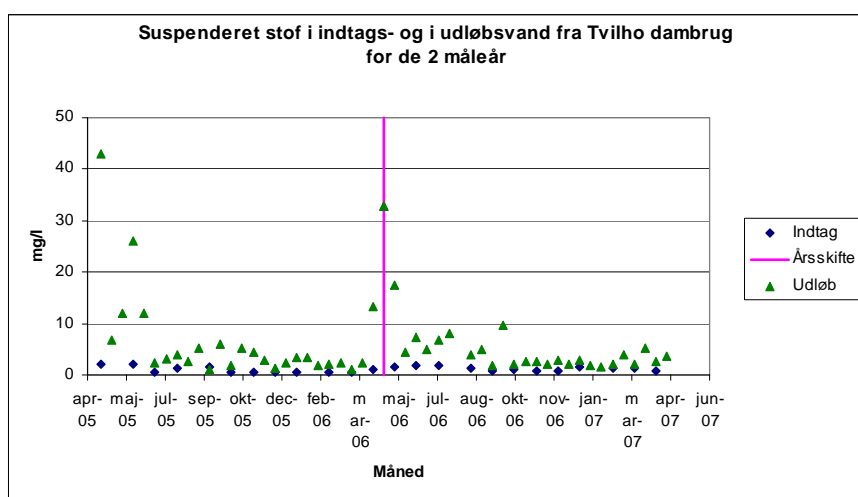
Figur 20 Total fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tvilho Dambrug og i afløbet herfra til Nørrebækken i første og andet måleår.



Figur 21 BI₅ koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tvilho Dambrug og i afløbet fra dambruget til Nørrebækken i første og andet måleår.



Figur 22 COD-koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tvilho Dambrug og i afløbet fra dambruget til Nørrebækken i første og andet måleår.



Figur 23 Suspenderet stof-koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Tvilho Dambrug og i afløbet til Nørrebækken i første og andet måleår.

I lighed med nitrat kan orthofosfat optages af planterne i plantelagunen under vækst. Endvidere kan det i et vist omfang bindes til sediment og evt. slam på bunden af plantelagunerne. Generelt er udløbskoncentrationen lidt lavere end indløbskoncentrationen og differensen er et udtryk for optagelse i planter eller binding til sedimentet, men selve koncentrationsforløbet i plantelagunen er styret af tilledningen til denne (afløb fra produktionsanlægget). I tilledningen fra produktionsenhederne findes ca. 80 % af fosforen som orthofosfat, men kun 54 % i klaringsvandet fra slambassin, mens det i afløbet fra dambruget udgør 69 % af total fosfor. Partikulært fosfor vil i et vist omfang sedimentere i plantelagunen.

Koncentrationen af organisk stof i udløbet fra Tvilho Dambrug forløber ikke helt ens for BI₅ (figur 21) og COD (figur 22) gennem 2. måleår. BI₅ koncentrationen er lidt højere i sommerhalvåret, men varierer kun lidt over 2 måleår, mens COD har større sæsonvariation, højest om sommeren og større variation fra uge til uge. Både BI₅ og COD-koncentrationen i udløbsvandet er størst om sommeren i første måleår og har været mest varierende i begyndelse af måleperioden, men COD koncentrationen i vinterhalvåret i andet måleår også er ret varierende fra måling til måling.

I andet måleår synes koncentrationsforløbet i afløbet fra plantelagunen at været kraftigt påvirket af koncentrationsforløbet i tilledningen til plantelagunen, mens det i foråret og sommeren under første måleår også har været påvirket af den kraftige opblomstring af trådalger, der dette år blev observeret i plantelagunen. COD-koncentrationen er 5-7 gange højere end BI_5 -koncentrationen i afløbet fra dambruget, dvs. at hovedparten af det organiske stof, der tilføres Nørrebækken er langsomt/svært omsætteligt.

Koncentrationen af suspenderet stof (partikler) varierer en del i foråret i begge måleår, men er ellers ret konstant med en tendens til lidt højere værdier i sommerhalvåret (figur 23). De målte koncentrationstoppe kan være relateret til den opvækst af trådalger, der især blev konstateret om foråret i det første måleår. Suspenderet stof har i tilledningen til plantelagunen været på samme niveau i begge måleår, hvorimod koncentrationen af suspenderet stof i klaringsvandet har været højest og mest varierende i det første måleår.

Som det fremgår af kapitel 5.3 er der en netto indsivning af øvre grundvand samt fra en gammel bagkanal til plantelagunerne de to måleår på henholdsvis 13 og 15 %. Det stof, der tilføres med grundvand er stort set kun på opløst form og må antages at have koncentrationer på niveau med indtagsvandet og dermed virke fortyndende på koncentrationerne i plantelagunerne, mens koncentrationen i det vand der kommer fra bagkanalen ikke kendes, men formentlig vil være lavere end afløb fra produktionsanlægget. Alt andet lige vil det ekstra vand, der tilføres via grund-/drænvand og bagkanal stabilisere og reducere koncentrationsniveauet lidt, men præcist hvordan dette kan have påvirket koncentrationsudviklingen i udløbet fra Tvilho Dambrug er vanskeligt at vurdere. Problemstillingen omtales yderligere i kapitel 9 og 12.

7 Overholdelse af udlederkrav

I miljøgodkendelsen for Tvilho Dambrug er der opstillet en række udlederkrav i forsøgsperioden (*Ribe Amt, 2004*). Udlederkravene er i miljøgodkendelsen formuleret som: "... Udlederkravene fastsættes i forsøgsperioden som en koncentrationsforøgelse i forhold til koncentrationen i dambrugets indløb...", hvor de angivne kravværdier fremgår af tabel 8. Ribe Amt har stillet krav om, at overholdelse af udlederkravene foretages ved tilstandskontrol for alle 5 parametre på koncentration af stoffer i udløbsvandet efter Dansk Standard 2399 (*Dansk Standard, 1999*), dvs. som afløbskontrol og med statistisk kontrolberegning som for afløbsdata fra virksomhed.

DS 2339 er imidlertid beregnet til kontrol alene på udledninger, dvs. hvor der ikke forekommer en koncentration i indløb (indtagsvand). Men udledninger fra dambrug bør foretages med udgangspunkt i forskellen i koncentrationen hen over et dambrug dvs. på koncentrationsforøgelsen over dambruget, jf. *Bekendtgørelse for modeldambrug (2002)* og anbefalingerne i faglig rapport nr. 60 fra DMU om "Afløbskontrol fra dambrug" (*Larsen og Svendsen, 1998*). Endvidere bør kontrollen for f.eks. totalkvælstof og total-fosfor gennemføres som transportkontrol.

Beregningen af amtets krav til overholdelse af kravværdier er statistisk ikke muligt. Der opereres med koncentrationsforøgelser i afløbet men DS 2339 kan kun anvendes på den faktiske koncentration i udledningerne og ikke på koncentrationsforskelle. Der skal i DS 2339 omregnes til logaritmen af koncentrationen og der kan ikke tages logaritmen af negative koncentrationer, som opstår i de tilfælde hvor indløbskoncentrationen er højere end den i udløbet fra dambruget. Endvidere er logaritmen til differencen mellem to koncentrationer (dvs. $\log(a-b)$) ikke det samme som forskellen mellem logaritmen på de samme to tal (dvs. som $\log(a) - \log(b)$). Det ville derfor ikke være fagligt korrekt at anvende DS 2399 ved udlederkontrol på dambrug, som opererer med forskelskoncentrationer.

I tabel 8 er udlederkontrollen dels beregnet efter DS 2399 på de faktisk målte koncentrationer i udledningen (dvs. uden korrektion for koncentrationen i indtagsvandet) og dels som forudsat i *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*, dvs. efter *Larsen og Svendsen (1998)*, på koncentrationsforøgelsen, men med tilstandskontrol for alle kemiske parametre for at kunne sammenligne med den metode, miljøgodkendelsen foreskriver. Det antages, at sikkerheden for overholdelse af udlederkravene skal være 95 % (sikkerheden for miljøet) som forudsat i Dambrugsbekendtgørelsen og anbefalet i *Pedersen et al. (2003)*. Sædvanligvis regnes 95 % statistisk sikkerhed for at være temmelig høj. Når DS2399 alene kan beregnes på de faktiske udledninger beregnes en for skrap kontrol, hvorfor kontrollen beregnet efter *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)* vil være den korrekte at lægge til grund for en vurdering af overholdelsen af udlederkravene. I tabel 8 vises udlederkontrollen for både første og andet måleår.

Den statistisk beregnede udlederværdi, der sammenholdes med udlederkravet, findes som gennemsnitskoncentrationen plus spredningen på

koncentrationerne i kontrolperioden ganget med en statistisk justeringsfaktor jf. *Larsen og Svendsen (1998)* og *Pedersen et al. (2003)*. Kursiv i tabel 8 viser, hvor udlederkravene ikke har været overholdt for en given kemisk variabel ved den angivne kontrolmetode i kontrolperioden.

Kontrolparameter	Kravværdi i Miljøgodk. (mg l ⁻¹)	Udledn. efter DS2399 (mg l ⁻¹) år 1/ år 2	Udledning efter Bekendt. modeldambrug (mg l ⁻¹) år 1/ år 2	Teoretiske kravværdier jf. Dambrugsbekendtgørelsen (mg l ⁻¹)
Susp. stof	10	6,27/ 5,68	8,3/ 7,28	26 (3)
NH ₄	1,0	1,52/ 1,18	1,18/ 1,36	3,5 (0,4)
Total-N	6,0	8,18/ 9,26	5,72/ 8,89	5,3 (0,6)
Total-P	0,5	0,523/ 0,428	0,537/ 0,374	0,44 (0,05)
BI ₅	7	4,46/ 3,98	3,49/ 2,79	8 (0,7)

Tabel 8 Kontrol på udledningerne fra Tvilho Dambrug for hhv. første og andet måleår. De beregnede statistiske udlederværdier er dels beregnet ud fra DS2399 = Dansk Standard for udlederkontrol (dvs. ikke på forskelskoncentrationen over dambruget men alene udløbskoncentrationerne) dels beregnet efter miljøgodkendelsen men efter metoden anbefalet i Bekendtgørelsen om modeldambrug, jf. *Larsen og Svendsen (1998)* (dvs. på forskelskoncentrationen over dambruget), dog som tilstandskontrol for alle parametre. Udlederkontrollen er angivet for hver af de to måleår. Der er beregnet efter en statistisk sikkerhed på overholdelse af udledninger på 95 %. Med kursiv er vist, hvor udlederkravene ikke er overholdt i hhv. første og andet måleår. I sidste kolonne er angivet de beregnede udlederkravværdier hvis dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier (som er angivet i parentes) ganges med forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning til modeldambrug (150 l/s) og max. vandindtag efter ombygning (17 l/s).

Udlederkontrollen viser for begge måleår, at Tvilho Dambrug ikke har overholdt de af amtet opsatte udlederkrav for forsøgsperioden hvad angår ammonium og total kvælstof, uanset hvilken kontrolmetode der anvendes. Tilsvarende overholdes udlederkravet ikke for total fosfor i første måleår, hvor overskridelsen dog er beskedne 5 %. For de øvrige kemiske variable overholdes udlederkravene. Endvidere fremgår det, at udlederværdierne har været lavere for suspenderet stof, total fosfor og BI₅ men højere for ammonium og total kvælstof i andet måleår sammenlignet med første, beregnet efter bekendtgørelsen for modeldambrug. Udledningen efter Bekendtgørelsen for modeldambrug var på 118 % i første og 136 % i andet måleår for ammonium af udlederkravet og tilsvarende 95 % hhv. 148 % for total kvælstof.

I tabel 8 er også angivet, hvad kravværdien ville blive efter Dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier, såfremt hele reduktionen i vandindtaget sammenlignet med før ombygningen til et modeldambrug blev godskrevet dambruget, svarende til faktor 8,82 (forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning på 150 l/s og efter ombygning 17 l/s) på udlederkravværdier. Så ville Tvilho Dambrug også kunne overholde udlederkravet for ammonium i begge måleår, men fortsat ikke ift. total kvælstof. For total kvælstof, fosfor og BI₅ har amtet i miljøgodkendelsen fastlagt kravværdierne på linie med kravværdier efter dambrugsbekendtgørelsen, mens kravet især er markant skærpet (med en faktor 5) for ammonium kvælstof.

8 Massebalancer

8.1 Produktionsbidrag

Ifølge den førte driftsjournal har foderforbruget i det andet måleår i produktionsanlæg inklusiv kummehus været på i alt 106,2 tons hvilket er 13,4 tons mere end første måleår. Der er beregnet en produktion på 127,6 tons fisk (inkl. døde) og estimeret en foderkvotient for hele produktionsanlægget på 0,850 der er omtrent den samme for begge måleår. I første måleår blev der produceret 112,6 tons fisk inklusiv inkl. døde. I kapitel 3.2 er redegjort for beregning af produktionsbidraget, som er angivet i tabel 9 for måleår 1 og 2 med en antagelse om 1 % foderspild. For måleår 1 er produktionsbidraget ændret (øget) jf. diskussionen i kapitel 3.2 og tallene derfor anderledes end angivet i første år statusrapport (*Svensen et al., 2006*).

Produktionsbidrag	NH ₄ - N		Total-N		Total-P		BI ₅		COD	
	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2
I kg	3.208	3.748	3.981	4.580	566	545	7.632	9.321	21.806	26.632
I kg pr. tons foder	34,6	35,3	42,9	43,1	6,1	5,1	82,2	87,8	234,9	250,8
I kg pr tons fisk	28,5	29,4	35,4	35,9	5,1	4,3	67,8	73,0	193,5	208,8

Tabel 9 Beregnede produktionsbidrag inkl. leveredam og kummehus for hhv. første og andet måleår på Tvilho Dambrug opgjort i kg pr. tons samlet foderforbrug og kg pr. tons produceret fisk

Det bemærkes, at produktionsbidraget beregnet i forhold til foderforbrug og produktion af fisk i det samlede produktionsanlæg har været lidt højere i andet måleår for alle parametre undtagen fosfor.

8.2 Massebalancer

For at kunne beregne hvor meget stof der fjernes i forskellige dele af dambruget kræves opgørelser over, hvor store stofmængder der er tilført og afledt forskellige steder på dambruget, så der kan opstilles massebalancer hen over f.eks. selve produktionsanlægget, plantelagunen, over hele dambruget m.v. Stofmængderne er (fraset produktionsbidraget) beregnet ved at gange en daglig vandmængde et givent målested med en tilhørende døgnmiddelkoncentration. Vandmængderne måles som beskrevet i kapitel 2 kontinuert i en række målepunkter, for hvilke der er beregnet en døgnmiddel vandmængde. De døgnlige stofkoncentrationer er fundet ved lineær interpolation mellem de målte døgnmiddelkoncentrationer fra prøvetagning af vandkemiske prøver hver 14. dag. Stofmængderne forskellige steder på dambruget fremgår af tabel 10.

De to kilder til stofinput er boringerne (indtagsvandet = I) og foder (produktionsbidraget P). Produktionsbidraget ses som et stofbidrag fra slamkegletømning, returskylning af biofiltre i produktions- og yngelanlæg samt via de forøgede stofmængder, der løber ud af produktionsanlægget til plantelagunerne ift. indtagsvandet. Produktionsbidraget er opgjort

samlet for produktionsanlægget inklusiv yngelanlæg. Stoftilførslen via indtagsvandet har den største relative betydning for total kvælstof, hvor den udgør 27 %, mens de for de øvrige stoffer udgør 7-13 %.

Som omtalt i kapitel 5.3 vindes der vand over dambruget, netto 27 % det andet måleår, som primært sker over plantelagunen. Der er en vis usikkerhed på den vandmængde, der tilføres og afledes fra slambassinerne, idet der kun tilføres vand i visse perioder, således at beregningerne er afhængige af korrekte tidsangivelser for, hvornår pumper fra slambørnde til slambassiner har kørt, dels at der er et overløbsrør fra slambassiner (uden vandur), der kan være aktiv i kortere perioder.

	Vand 1000 m ³	Susp kg	NH ₄ -N kg	NO ₂₃ - N kg	Total N kg	Ortho P kg	Total P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtagvand (I)	489	1.332	259	1.070	1.658	28	53	1.017	4.109
Produktionsbidrag (P)	-	-	3.748	-	4.580	-	545	9.321	26.632
Samlet stofinput (I+P)	489	1.332	4.007	1.070	6.239	28	598	10.338	30.741
Slamkegler produktionsenhed	4,7	6.745	19	3	206	45	232	3.506	8.788
Biofilterskyl produktionsenhed	12,0	6.937	22	144	478	11	133	1.745	6.891
Tilført slambassin i alt	16,7	13.682	40	147	684	56	365	5.250	15.678
Afløb prod. anlæg til plantelagune	489	1.409	384	4.104	5.055	135	170	1.801	8.379
Returskyl yngel og sættefisk	19,1	182	7	40	67	3	11	98	363
Klaringsvand slambassin til plantelagune	28,5	1.796	441	63	651	78	145	772	2.715
Tilført plantelagune i alt	537	3.387	832	4.207	5.773	217	326	2.672	11.458
Udløb fra dambrug	621	3.162	652	4.197	5.327	169	245	2.211	10.686

Tabel 10 Beregnede samlede stofmængder i andet måleår ved forskellige målesteder på Tvilho Dambrug. I = stofmængder i indtagsvandet. P = produktionsbidrag fra fiskeproduktionen. Der kan ikke beregnes produktionsbidrag for suspenderet stof, nitrat og orthofosfat. Det gennemsnitlige vandindtag har været ca. 15,5 l/s

I tabel 10 er beregnet stofmængderne over de enkelte dele af dambruget. I det første måleår var stofmængden i afløb fra slambassinerne (klaringsvand) for suspenderet stof, total fosfor og organisk stof (BI₅ og COD) faktisk større end stofmængden, der tilførtes plantelagunerne ved afløb fra produktionsenhederne. I andet måleår udgør stofmængderne i klaringsvandet for total fosfor kun knapt halvdelen af bidraget fra produktionsenhederne, mens suspenderet stof og til dels organisk stof fortsat er større i klaringsvandet. Der skal bemærkes, at beregningerne af vand og stoftilførslerne til slambassinerne er forbedret i andet måleår, da der var ret stor usikkerhed på tilførslen til slambassinerne i første måleår.

Plantelagunerne tilføres fortsat ammonium-kvælstof med klaringsvandet fra slambassinerne grundet denitrifikationen i disse. Samlet set er en væsentlig del af det stof, der er tilbageholdt og overført til slambassinerne i andet måleår blevet tilbageført til plantelagunerne.

9 Rensegrader og stoffjernelse

9.1 Beregning af rensegrader

I dette kapitel beregnes stoffjernelsen over hele dambruget og over del-elementerne: produktionsanlæg, plantelagune m.v. Rensegraden beregnes ud fra to beregningsmetoder. Rensegraden R_N for en given kemisk variabel er bestemt ud fra anvisningen i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)*, som

$$R_N (\%) = ((P - U_N) / P) * 100, \text{ hvor} \quad (1)$$

P = produktionsbidraget

U_N = dambrugets nettoudledning, dvs. den målte udledning U_M minus I = input fra indtagsvand (boringer).

Denne metode kan kaldes nettorensesegraden, som svarer til at stoftilbageholdelsen over hele dambruget S_N for en given kemisk variabel bestemmes i procent af produktionsbidraget P for det samme stof, dvs.

$$R_N (\%) = S_N / P * 100$$

Endvidere beregnes en bruttorensesegrad R_B hvor stoftilbageholdelsen over dambruget S_N for en given kemisk variabel bestemmes i procent af den samlede stoftilførsel dvs. ift. produktionsbidraget P plus stofbidraget fra indtagsvand (I), dvs.

$$R_B (\%) = (S_N / (I + P)) * 100 \quad (2)$$

Brug af ovenstående formler forudsætter at vandindtaget til dambruget udgør mindre end eller lig med 10 % af vandløbets medianminimumsvandføring, hvilket er opfyldt for Tvilho Dambrug.

9.2 Rensegrader over hele dambruget

Målinger og beregninger for andet måleår viser, at nettorensesegraden (R_N) over hele dambruget har været 20 % for total kvælstof (N), 65 % for total fosfor (P) og 87 % for organisk stof udtrykt som BI_5 . Rensegraderne for total fosfor og BI_5 har således været højere end forudsætningerne i jf. *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* for type III modeldambrug. Bekendtgørelsen forudsætter rensegrader på henholdsvis 11 %, 60 % og 75 % for de tre kemiske variable for type III modeldambrug uden mikrosigter. For total kvælstof skal der til de 11 % dog tillægges, at plantelagunerne forudsættes at fjerne 1 g N pr m^2 pr dag, dvs. 365 g pr. m^2 pr. år; eller med de 1.375 m^2 plantelagune i Tvilho Dambrug 502 kg total kvælstof pr. år. Omregnet svarer dette til at nettorensesegraden for kvælstof mindst skal være 22 %, og rensegraden for total kvælstof er således lige under det forudsatte for 2. måleår.

Resultaterne fra første måleår er genberegnet og indsat i tabel 11 og det viser at nettorensgraden indenfor få procentpoint er ens for begge måleår for både ammonium og BI_5 , mens den er 6 procentpoint lavere for total fosfor og 14 procentpoint lavere for total kvælstof i andet måleår. Bruttorensgraderne er i andet måleår 6 procentpoint højere for ammonium men 9 % lavere for total kvælstof og 3-5 % lavere for total fosfor og COD sammenlignet med første måleår.

I de beregnede rensgrader indgår også det stof, der tilføres bundet grundet netto indsvivning til plantelagunen, en indsvivning som har været størst i andet måleår. De beregnede rensgrader må derfor betragtes som et mindste mål for rensgraderne over plantelagunen og dambruget. Den faktiske rensgrad kan derfor antages at være lidt højere, hvilket diskuteres i kapitel 12.

Man skal være opmærksom på, at for modeldambrugene under forsøgsordningen er der dispenseret ift. kvælstofbegrænsning således at det er den forventede rensgrad for fosfor, der har bestemt den tildelte foder-mængde. Det betyder, at dambruget skal op på en væsentlig højere rensgrad for total kvælstof for at kunne opfylde rensgraderne ift. til det tildelte foderforbrug. Nettorensgraden har til gengæld været høj, ca. 90 % for ammonium kvælstof, her er problemstillingen det meget skrappe udlederkrav opsat for dette stof.

Der er ikke udregnet rensgrad for suspenderet stof, da det ikke giver mening at beregne et produktionsbidrag for suspenderet stof.

Forskellen mellem netto- og bruttorensgraderne afspejler, hvor meget stofbidraget fra indtagsvandet udgør af produktionsbidraget. Det har mindst betydning for fosfor- og kvælstof-fraktionerne med 5-6 procentpoint og størst for organisk stof (COD) på 10 procentpoint lavere end nettorensgraden.

I tabel 11 er der endvidere angivet den specifikke udledning (stofudledning i g pr. kg produceret fisk) beregnet både ift. den faktiske udledning fra dambruget (brutto) og ift. nettoudledningen fra dambruget i andet måleår (netto). De tilsvarende værdier er også angivet for første måleår. Det viser sig, at nettostofudledningen er større i andet år på nær for ammonium, mens for total fosfor er nettoudledningen den samme begge måleår. Regnes stofbidraget fra indtagsvandet med, dvs. som i bruttoberegningen, er stofudledningen i andet måleår pr. kg produceret fisk lidt lavere for ammonium kvælstof, total fosfor og BI_5 , men højere for total kvælstof og COD. Dette forårsages dels af, hvor meget indtagsvandets stofmængder betyder for samlede stoftilførsel, dels af hvor meget vand der netto indsviver over plantelagunen samt endvidere af, om der er sket en bedre stoffjernelse af nogle stoffer i andet måleår, som det er tilfældet for ammonium kvælstof.

	Vand (1000 m ³)	NH ₄ -N Kg	Total -N kg	Total -P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtag vand (I)	489	259	1.658	53	1.017	4.109
Produktionsbidrag (P)		3.748	4.580	545	9.321	26.632
Samlet stof bidrag (I+P)	489	4.007	6.239	598	10.338	30.741
Målte udledninger fra dambrug (U _M)	621	652	5.327	245	2.211	10.686
Netto udledning fra dambrug U _N (U _M -I)	132	393	3.669	192	1.193	6.577
Nettorensgraden R _N (%) jf. formel 1		90	20	65	87	75
Bruttorensgraden R _B (%) jf. formel 2		84	15	59	79	65
Stofudledningen netto i g/ kg produceret fisk		3,1	28,8	1,5	9,4	51,6
Stofudledningen brutto i g/ kg produceret fisk		5,1	41,8	1,9	17,3	83,8
Reviderede resultater fra 1. måleår						
Nettorensgraden R _N (%) jf. formel 1		88	34	71	88	82
Bruttorensgraden R _B (%) jf. formel 2		80	24	62	76	70
Stofudledningen netto i g/ kg produceret fisk*		3,4	23,7	1,5	7,9	35,7
Stofudledningen brutto i g/ kg produceret fisk*		6,3	38,2	2,2	19,3	69,8

Tabel 11 Udledninger til vandløb og rensgrader over Tvilho Dambrug for andet måleår, ud fra henholdsvis samlede stofinput til dambruget (brutto) og ud fra produktionsbidraget (netto). Endvidere er stofudledningerne beregnet brutto og netto ift. produceret fiskemængde. Til sammenligning er indsat genberegnete rensgrader for første måleår.

Sammenlignes med de tilsvarende netto stofudledninger pr. gram produceret fisk for Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*), som var:

- NH₄-N: 4-6 g pr. kg produceret fisk
- Total N: 5-11 g pr. kg produceret fisk
- Total P: 2 g pr. kg produceret fisk
- BI₅: 20-28 g pr. kg produceret fisk

så har Tvilho Dambrug ligget lavere i udledning af ammonium kvælstof, total fosfor og især BI₅, men betydeligt højere for total kvælstof i andet måleår.

9.3 Rensgrader over produktionsanlægget og over plantelagunerne

I dette afsnit vises resultaterne for stoftilbageholdelse og rensgrader over produktionsanlægget (tabel 12) og over plantelagunerne (tabel 13). I tabel 12 er medtaget stoffjernelsen i leveredam og kummehus. I forhold til afløb af klaringsvand fra slambassinerne, kan det ikke skelnes om det stammer fra produktionsenhederne eller fra leveredamme. I tabel 13 er der derfor angivet den samlede mængde klaringsvand med tilhørende stofmængder. Produktionsbidraget er det samlede produktionsbidrag vedr. det anvendte foder i andet måleår.

Stoffjernelsen i produktionsanlægget er et mål for, hvad der fysisk opsamles i slamkeglerne og biofiltrene og som føres over i slambassinerne. Det dækker endvidere også en omsætning af stof, som giver anledning

til et stoftab i produktionsenhederne herunder i leveredam, i kummehus samt i biofiltre og evt. i slamkegler. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er fundet som forskellen mellem det stof, der tilføres produktionsanlægget via boringsvandet og med produktionsbidraget minus det stof, der er målt i udløb til plantelagunerne fra produktionsenhederne og leveredamme samt kummehus.

For plantelagunen beregnes stoftilbageholdelsen som forskellen mellem det stof, der tilføres fra produktionsanlæg inklusiv med klaringsvandet fra slambassin minus det stof, som udløber fra dambruget (afløb plantelagune).

Rensegraderne er både i tabel 12 og 13 beregnet på to måder:

- stoffjernelse i procent af stoftilførslen til produktionsanlægget (tabel 12) og til plantelagunen (tabel 13)
- stoffjernelse i procent af det samlede produktionsbidrag (tabel 12 og 13)

For plantelagunen beregnes stoffjernelsen endvidere i procent af den samlede stoftilførsel til dambruget (dvs. i procent af I + P fra tabel 11)

For produktionsanlægget er stoffjernelsen desuden blevet beregnet som angivet i de to punkter ovenfor, men hvor der er kompenseret for at en større del af det stof, der overføres til slambassinerne via tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre, efterfølgende ledes til plantelagunen med klaringsvandet fra slambassinerne. Dette stof er dermed reelt ikke fjernet/tilbageholdt i slambassinerne. Dette er et mål for netto stoffjernelse i slamfælder og biofiltre, mens stoffjernelsen udregnet uden der tages højde for afløb af stof med klaringsvandet, er et mål for brutto tilbageholdelsen/omsætningen i slamfælder og biofiltre (hvad de har tilbageholdt/fjernet og ført over i slambassinerne). Jo bedre man bliver til at reducere stofmængderne i klaringsvandet, des tættere vil netto og brutto tallene komme på hinanden og desto større reel rensning vil renseforanstaltningerne i produktionsanlægget kunne præstere. Samtidig vil plantelagunen skulle tilbageholde mindre stof og udledninger kan antages at blive reduceret.

For plantelagunen er stoftilbageholdelsen/omsætningen også udtrykt i gram per m² plantelagune pr. dag for at kunne sammenligne med andre dambrug (tabel 13).

Ved sammenligning af resultaterne i tabel 12 og 13 skal man være opmærksom på, at stof, der fjernes i produktionsanlægget og ikke senere tilføres plantelagunerne via klaringsvandet fra slambassinerne, ikke også kan fjernes i plantelagunerne. Det betyder, at plantelagunerne sandsynligvis kan fjerne mere af nogle stoffer end de faktisk gør, hvis de blev belastet hårdere.

Umiddelbart fjernes store dele af stofinputtet i produktionsanlægget nemlig mellem 72 og 90 % af ammonium-kvælstof, total fosfor og organisk stof (både BI₅ og COD) og endda lidt højere andele, hvis stoffjernelse beregnes alene ift. produktionsbidraget. Til gengæld er stoffjernelsen af total-kvælstof betydeligt lavere, 19 % af det samlede input og

26 % af produktionsbidraget. Man skal dog være opmærksom på, at en væsentlig del af det stof, der er ført over i slambassinerne ved returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler, efterfølgende udledes til plantelagunerne med klaringsvandet. Rensegraderne over produktionsanlægget er i 2. måleår højere for ammonium kvælstof og lig med eller lidt lavere for de øvrige kemiske komponenter end de genberegnete rensegrader for første måleår.

	Vand 1000m ³	Susp. kg	NH ₄ -N kg	Total – N kg	Total - P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtagsvand (I)	489	1.332	259	1.658	53	1.017	4.109
Produktionsbidrag (P)	-	-	3748	4.580	545	9.321	26.632
Samlet stofinput (I+P)	489	1.332	4007	6.238	598	10.338	30.741
Afløb fra produktionsanlægget	489	1.409	384	5.055	170	1.801	8.379
Stoffjernelse over produktionsanlæg			3623	1.183	428	8.537	22.362
Stoffjernelse i % af input	-	-	90 (81)	19 (22)	72 (73)	83 (83)	73 (78)
Stoffjernelse i % af produktionsbidraget	-	-	97 (89)	26 (32)	79 (84)	92 (96)	84 (91)
Stoffjernelse i slamkegler	4,7	6.745	19	206	232	3.506	8.788
Stoffjernelsen i slamkegler i % af input	-	506	0	3	39	34	29
Stoffjernelsen i slamkegler i % af produktionsbidrag			0	5	43	38	33
Stoffjernelse via returskylning af biofiltre	1.200	6.937	22	478	133	1.745	6.891
Stoffjernelse v. returskylning af biofilter i % af input	-	521	1	8	22	17	22
Stoffjernelse v. returskylning af biofilter i % af produktionsbidrag			1	10	24	19	26
Beregnet omsætning i prod. anlæg (incl. evt. akkumulering)			3.582	499	63	3.287	6.684
Stoftilførsel til slambassin	16.710	13.682	40	684	365	5.250	15.678
Stoffjernelse med klaringsvand	28.511	1.796	441	651	145	772	2.715
Tilbageholdelse i slambassin	-11.801	11.886	-401	33	220	4.478	12.963
Stoftilbageholdelsen i slambassin i % af tilførslen		87	-995	5	60	85	83
Stoftilbageholdelsen i % af input		892	-10	1	37	43	42
Stoftilbageholdelsen i % af produktionsbidrag			-11	1	40	48	49
Samlet stoffjernelse over hele prod. anlæg minus tab med klaringsvand (a)			3.182	532	283	7.765	19.646
Stoffjernelse hele prod. anlæg (a) i % af samlet input (I+P)			79 (68)	9 (11)	47 (20)	75 (56)	64 (55)
Stoffjernelse hele prod. anlæg (a) i % af samlet prod. Bidrag (P)			85 (75)	12 (15)	52 (23)	83 (66)	74 (65)

Tabel 12 Stoffjernelse over hele produktionsanlægget inkl. evt. stof i ekstra vand som tilføres over produktionsanlægget, og de tilhørende rensegrader for det andet måleår ved Tvilho Dambrug for de kemiske variable. I parentes er angivet genberegnete rensegrader fra første måleår. Stoffjernelsen i kummehuset er medregnet. Se tekst for nærmere forklaring.

Ses på den reelle nettofjernelse af stof over produktionsanlægget, dvs. hvor der er taget højde for tab af stoffer med klaringsvandet, reduceres rensegraderne til mellem 47 og 79 % for ammonium, total fosfor og organisk stof og til kun 9 % for total kvælstof. For alle parametre på nær total kvælstof har nettofjernelsen i procent været højere andet måleår. Dette viser at tilbageholdelsen (rensegraden) over slambassinerne har været højere andet måleår, hvilket også fremgår af figur 13-15 (kap. 6), som vi

ste at koncentrationerne i afløbet fra slambassinerne var faldet væsentligt fra første halvdel af første måleår til andet måleår.

I tabel 12 er angivet "beregnet omsætning (inkl. evt. akkumulation i biofiltre og produktionsanlæg)", som er et mål for hvad der omsættes og evt. akkumuleres i biofiltret og i de to produktionsenheder ud over hvad der fraføres med slamvand fra slamkegler og skyllevand fra biofiltre. I disse værdier indgår også den akkumulerede usikkerhed på målingerne. Den store fjernelse af ammonium i produktionsanlægget er et udtryk for at dette ret effektivt omdannes til nitrat i biofiltrene. Dermed fjernes der ikke kvælstof, men der sker i stedet en tilførsel af nitrat til slambassinerne og til plantelagunen fra produktionsanlægget. Noget af dette nitrat omsættes til frit kvælstof (N_2) i slambassinerne, men ved samme omdannelse dannes noget ammonium. Nitrat og ammonium føres med klarringsvandet til plantelagunen. Noget nitrat kan optages i planter, mens der også vil være en omsætning af nitrat til frit kvælstof i plantelagunen, da der på bunden af plantelagunen findes let omsætteligt organisk stof og kan være iltfattige forhold. Der tilføres også nitrat med det vand, der siver ind fra bund/sider af plantelagunen (se kapitel 12).

Ca. en tredjedel af det organiske stof der fjernes over produktionsanlægget omsættes (+ evt. akkumulation) i dette, mens en lille del af total fosfor tilsyneladende akkumuleres i anlægget.

	Vand 1000 m ³	Susp. kg	NH ₄ -N kg	NO ₂₃ -N kg	Total -N kg	Ortho -P kg	Total -P kg	BI ₅ kg	COD kg
Tilført plantelagune i alt	537	3.387	832	4.207	5.773	217	326	2.672	11.458
Udløb dambrug	621	3.162	652	4.197	5.327	169	245	2.211	10.686
Tilbageholdelse i plantelagune	-84	225	180	10	446	48	81	461	772
Tilbageholdelse i plantelagune i % af input i plantelagunen	-16 (-12,8)	6,6 (27)	22 (40)	0,2 (11)	7,7 (19)	22 (45)	25 (53)	17 (50)	6,7 (37)
Tilbageholdelse i plantelagune i % af produktionsbidrag	x		4,8		9,7		15	4,9	2,9
Tilbageholdelse i % brutto input dambrug	-17,3		4,5		7,2		14	4,5	2,5
Tilbageholdelse g pr. m² pr dag (1375m²)	x	0,45	0,36	0,02	0,89	0,10	0,16	0,92	1,54
Tilbageholdelse i g pr. m² pr. dag i første måleår		2,56	0,94	0,79	1,95	0,24	0,57	4,18	8,99

Tabel 13 Beregnet stoftilbageholdelse/fjernelse i andet måleår over plantelagunen (1375 m²) og de tilhørende rensegrader for kemiske variable for andet måleår. Den samlede tilførsel til plantelaguner består af afløbsvand fra produktionsanlægget og klarringsvand fra slambassinerne. I parentes er angivet genberegnete resultater fra første måleår og i nederste række er tilbageholdelsesraterne angivet for første måleår. Der er ikke taget højde for stoftilførsel med indsivningsvand.

Når der ikke tages højde for at der med indsivende vand fra bund/sider i plantelagunen også tilføres stof, så tilbageholdes/fjernes ca. 22 % af det tilførte ammonium kvælstof i plantelagunerne. Tilsvarende fjernes stort set intet nitrat kvælstof og kun 7 % af det tilførte total kvælstof. For fosfor tilbageholdes 22 % af det opløste fosfor og 25 % af total fosfor. Der omsættes kun en mindre del af det let omsættelige organiske stof (17 % af tilført BI₅), mens tilbageholdelsen af det tilførte COD er endnu lavere (7 %). I andet måleår er den procentuelle tilbageholdelse af belastningen på plantelagunen kun mellem ca. det halve og en tiendedel af de tilsvarende værdier for første måleårs for alle parametre. Det er forsøgt at estimere betydningen af nettoindsivningen i plantelagunen i de to måleår ved at antage at det indsivende vand har samme stofkoncentrationer

som indtagstvandet til dambruget, hvilket må antages at være et minimumsestimat for stoftilførslen med det indsvivende vand. I andet måleår har der været en nettoindsivning af vand på 16 % af vandtilførslen fra produktionsanlæg plus klaringsvand mod 13 % i første måleår, hvilket ikke alene kan forklare forskellen i rensegrader. De korrigerede rensegrader for første og andet måleår fremgår af tabel 14. De korrigerede rensegrader over plantelagunen bliver herved højere især for de kemiske komponenter, der alene består af opløst stof. De korrigerede rensegrader over plantelagunen er i andet måleår nu typisk fra godt en halv til knap en tredjedel af rensegraderne fra første måleår, dvs. forskellen i rensegraderne er efter korrektionen mindre, men de er fortsat betydeligt mindre end i første måleår.

2. måleår: korrigeret for estimeret tilførsel v. indsvivning	Susp. kg	NH₄-N kg	NO₂₃-N kg	Total -N kg	Ortho -P kg	Total -P kg	BI₅ kg	COD kg
Tilbageholdelse i plantelagunen efter korrektion	455	255	195	733	53	90	637	1.481
Tilbageholdelse i plantelagune i % af input i plantelagunen	13	26	4,4	12	24	27	22	12
Tilbageholdelse i plantelagune i af produktionsbidrag	-	6,0		16		17	6,8	5,6
Tilbageholdelse i % brutto af input dambrug		5,6		12		15	6,2	4,8
Tilbageholdelse i g pr. m ² pr dag (1375 m ²)	0,9	0,4	0,4	1,5	0,1	0,2	1,3	3,0
1. måleår: korrigeret for estimeret tilførsel v. indsvivning								
Tilbageholdelse i plantelagunen efter korrektion	1.570	513	526	1.170	126	295	2.247	4.961
Tilbageholdelse i plantelagune i % af input i plantelagunen	31	42	15	22	46	54	51	39
Tilbageholdelse i plantelagune i % af produktionsbidrag	-	16		29		52	29	23
Tilbageholdelse i % brutto af input dambrug		15		21		45	25	19
Tilbageholdelse i g pr. m ² pr. dag (1375 m ²)	3,1	1,0	1,0	2,3	0,3	0,6	4,5	9,9

Tabel 14 Korrigerede beregnede stoftilbageholdelse/-fjernelse i første og andet måleår over plantelagunen (1375 m²) og de tilhørende rensegrader for kemiske variable, når der i modsætning til tabel 13 søges taget højde for tilførsel af især opløste stoffer med indsvivningsvand.

Sammenlignes rensegraden i plantelagunen beregnet i forhold til produktionsbidraget med de tilsvarende rensegrader i produktionsanlægget (når der er taget højde for stoftab med klaringsvandet) fjernes der i produktionsanlægget en langt større del af produktionsbidraget af ammonium (85 %) og total fosfor (52 %) end i plantelagunerne, hvor der kun fjernes henholdsvis 6 % og 17 % (korrigerede værdier). Tilsvarende er netto-rensgraden af produktionsbidraget større i produktionsanlægget for BI₅ og COD (henholdsvis 83 % og 74 %) sammenlignet med plantelagunerne (henholdsvis 7 % og 6 %). For total-kvælstof er netto rensgraden af produktionsbidraget lidt lavere i produktionsanlægget (12 %) end i plantelagunen (16 %). Plantelagunerne kan ikke fjerne stof der allerede tilbageholdes/omsættes i produktionsanlægget og derfor vil rensegraderne over plantelagunen ikke nødvendigvis være et mål for det faktiske rensopotiale i denne.

Sammenlignes netto-stoffjernelsen med den aktuelle belastning fjerner produktionsanlægget en væsentlig højere andel af alle stoffer end plantelagunen på nær for total kvælstof.

Stoffjernelsen ift. arealet af plantelagunerne er i andet måleår 1,5 g N pr. m² pr. døgn for total kvælstof (korrigerede værdier), hvilket er højere end forudsætningen for modeldambrugene på 1,0 g pr. m² pr. døgn. Den tilsvarende korrigerede værdi var i første måleår 2,3 g N pr. m² pr. døgn. Den ukorrigerede værdi (dvs. uden at tage højde for stoftilførsel til plantelagunen med indsivning) var kun 0,89 g pr. m² pr. døgn i andet måleår og dermed under forudsætningen. I første måleår var den målte (ukorrigerede) kvælstoffjernelse dobbelt så høj som i andet måleår. Den relativt beskedne nettofjernelse af kvælstof andre steder i dambruget samt den begrænsede denitrifikation i lagunen medfører, at den samlede fjernelse af kvælstof tilsyneladende ikke er tilstrækkelig over hele dambruget til at kunne overholde udlederkravene kontrolleret efter DS2399. For ammonium-kvælstof og total fosfor har stoffjernelsen pr. m² plantelagune (korrigerede værdier) været ca. 2- 3 gange højere og for BI₅ ca. 50 % lavere end resultaterne fra Døstrup Dambrug, som var (*Fjorback et al., 2003*):

- 0,16 - 0,29 g NH₄-N pr. m² plantelagune pr. døgn
- 0,03 – 0,07 g fosfor pr. m² plantelagune pr. døgn
- 1,8- 2,5 g BI₅ pr. m² plantelagune pr. døgn.

Døstrup Dambrug havde ikke nettovandindsivning til plantelagunerne.

Stoffjernelserne/stoftilbageholdelserne pr. m² plantelagune er for alle stoffer lavere end de fundne første års (genberegnete) resultater. Den lavere omsætning/tilbageholde kan dels skyldes at vandtilførslen over plantelagunen andet måleår er større end i det første måleår, men også mindre stofbelastning af plantelagunen andet måleår, ændret sammensætning af det tilledte stof, processer i plantelagunen m.v. kan spille ind. Endelig blev afledningen fra produktionsanlægget flyttet i slutningen af første måleår mere opstrøms i plantelagunen, hvilket dog skulle have øget muligheden for stoffjernelse i denne (se mere i kapitel 12).

Det ser ud til at der ikke sker ordentlig, velfordelt sedimentation over hele plantelagunen, da der er begrænset fjernelse af suspenderet stof og organisk stof. Klaringsvandet med en del partikulært materiale udledes ved punkt 7b (figur 1) , dvs. langt nede i plantelagunen, hvilket for dette vand giver kort opholdstid og begrænset mulighed for sedimentation. Når organisk stof ikke sedimentere og omsættes vil der ikke være noget større ilforbrug ved bunden af plantelagunen. Der er også målt et ret høje iltkoncentrationen, 6 mg/l ilt midt i plantelagune og i udløbet (figur 6), således at der også ved bunden er til stede og dermed ikke gode betingelser for denitrifikation, der begrænses af for lidt let omsætteligt organisk stof og især af for højt iltniveau. Endelig betyder nettoindsivningen af vand især i andet måleår en usikkerhed på, hvor meget opløst stof, her især nitrat der tilføres plantelagunen.

9.4 Sammenligning af stoftab over dambruget

I dette afsnit sættes summen af stoffjernelse forskellige steder på dambruget til 100 % for direkte at kunne sammenligne stoffjernelsen over:

- Produktionsanlægget, hvor der henholdsvis er taget højde for stoffjernelse med klaringsvandet (tabel 15) og ikke tages højde for dette (figur 24). Der er i denne statusrapport ikke lavet en op-

deling af, hvor meget stof der er fjernet i henholdsvis slamkegler og i biofiltre

- Plantelagunen
- til vandløbet, dvs. hvad der tilføres af stof til Nørrebækken ved udløb fra dambruget

I tabel 15 findes værdierne ved:

$$\text{Samlet nettostoffjernelse} = (PA_s - KV_s) + PL_s + VL_s, \text{ hvor} \quad (3)$$

PA_s = stoffjernelse over produktionsanlægget brutto, dvs. uden kompensation for stoftab fra slambassiner med klaringsvandet

KV_s = stoffjernelse med klaringsvandet fra slambassinerne

PL_s = stoffjernelse over plantelagunerne

VL_s = stoffjernelse fra dambruget til vandløbet via udløbet fra dambruget

Idet den samlede nettostoffjernelse sættes til 100 % beregnes de tre andre størrelser i ligning 3 som procent af den samlede nettostoffjernelse.

I figur 24 er ligning 3 ændret til:

$$\text{Samlet bruttostoffjernelse} = PA_s + PL_s + VL_s \quad (4)$$

hvor samlede bruttostoffjernelse er sat til 100 %. En del af det stof, der fjernes i produktionsanlægget ved overførsel til slambassinerne, tabes med klaringsvandet, andelen er vist som en negativ fjernelse i figur 24.

Nettofjernelsen over produktionsanlægget (når der er kompenseret for stoftab fra slambassinerne med klaringsvandet) viser, at andelen af den samlede stoffjernelse over dambruget i andet måleår er 63-79 % for ammonium og organisk stof, hvorfor produktionsanlægget er den vigtigste renseforanstaltning for disse stoffer (tabel 15). For total-fosfor fjerner produktionsanlægget 47 % dvs. lidt mere end der føres ud i vandløbet (40%). For total-kvælstof er det til gengæld tilførslen til vandløbet der er størst, idet tabet hertil udgør 85 %, hvor der i produktionsanlægget kun fjernes 8,4 %, så trods renseforanstaltningerne, udledes der 5 gange så meget total kvælstof til Nørrebækken, som der fjernes over dambruget. Andelen af ammonium-kvælstof, som tabes til vandløbet udgør ca. 16 % af det samlede stoftab over dambruget. For organisk stof (COD) udgør stoffjernelsen til vandløbet noget mere, ca. 34 % af det samlede stoftab over dambruget og for BI_5 lidt mindre (29 %). Samlet set er det procentuelle stoftab til Nørrebækken blevet lidt større andet måleår på nær for ammonium kvælstof og BI_5 . Den relativt større procentvise stoftilførsel til vandløbet kan bl.a. tilskrives mere indsivning i plantelagunen i andet måleår samt et større foderforbrug.

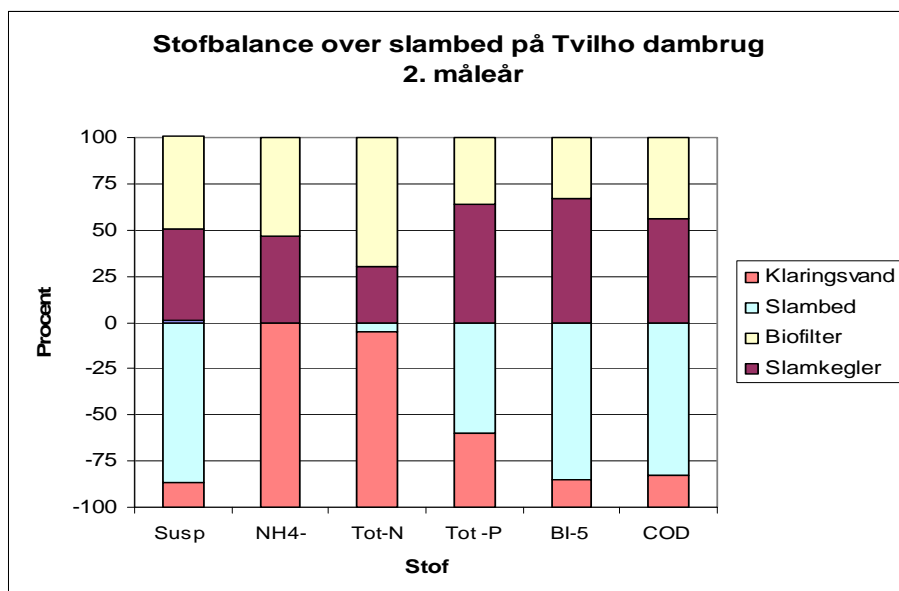
Samlet viser tabel 15, at der for kvælstof fortsat er et stort potentiale for øget stoffjernelse i dambruget via plantelagunen eller yderligere renseforanstaltninger. Mulighederne herfor undersøges p.t. i andet projekt.

	NH ₄ -N (%)		TN (%)		TP (%)		BI ₅ (%)		COD (%)	
	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2
Produktionsanlæg – klaringsvand (PA_s – KV_s)	67,1	79,3	10,2	8,4	19,9	46,5	54,2	74,4	53,5	63,2
I plantelagune (PL_s)	13,3	4,5	16,8	7,1	42,7	13,3	22,7	4,4	17,1	2,5
Til vandløb (VL_s)	19,6	16,2	73,0	84,5	37,3	40,2	23,1	21,2	29,3	34,4

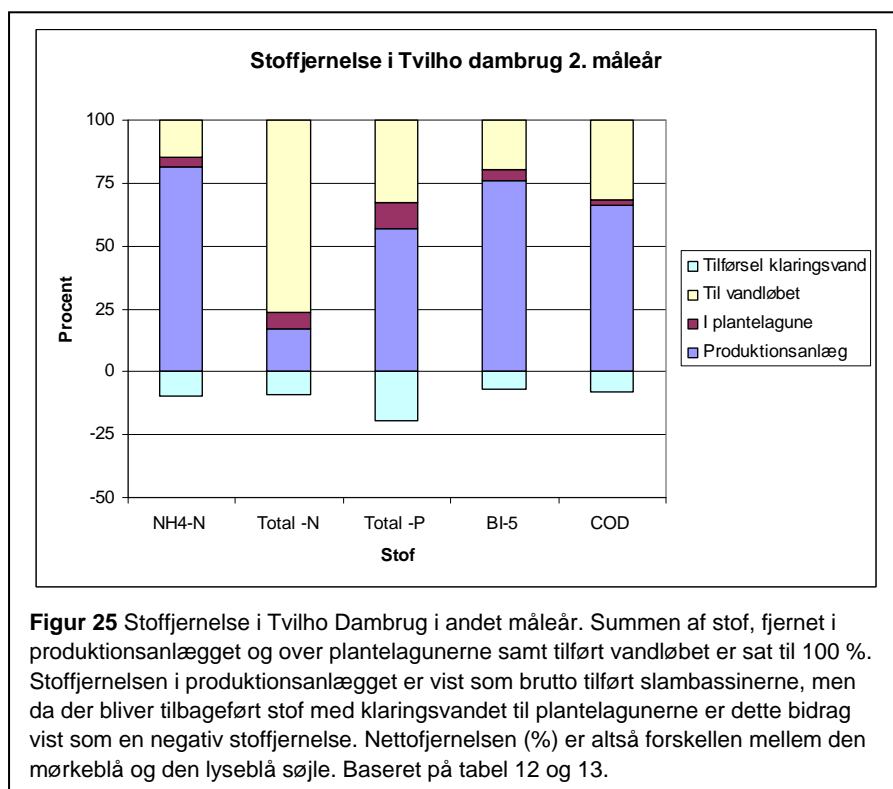
Tabel 15 Sammenligning af netto stoffjernelse over produktionsanlægget (dvs. hvor der er kompenseret for stoftab med klaringsvandet til plantelagunerne), plantelagunerne (uden korrektion for tilført stof med indsivningsvandet) og stoftilførsel til vandløb angivet for begge måleår (kaldet år 1 og år 2). Tal fra tabel 12 og 13 med genberegnete tal for første måleår.

Det fremgår af stofbalancen over slambassinet, at for total fosfor og organisk stof er tilførsel ved tømning af slamkeglerne den vigtigste stoftilførselskilde, mens skyllevandet fra biofiltrene leverer hovedparten af totalkvælstof og halvdelen af ammonium kvælstof (figur 24). Tilbageholdelsen i slambassinet er på mellem 83 og 87 % for suspenderet stof og organisk stof, for total fosfor er det 60 % hvorimod 95 % af det opsamlede totalkvælstof bliver udledt med klaringsvandet (opløst nitrat) til plantelagunen.

Tabet med klaringsvandet var det første måleår ret betydelig, hvad angår total fosfor næsten 34 % af den samlede stoffjernelse over dambruget. I andet måleår er det procentuelle tab med klaringsvandet reduceret til næsten det halve for BI₅ og COD og lidt mere for total-fosfor (figur 25). Tabet med klaringsvand er i andet måleår dog fortsat så stort, at tilførslen med klaringsvandet til plantelagunen er større end tabet/fjernelsen i plantelagunen for alle stoffer, når der ikke tages højde for evt. stoftilførsel med indsivningsvand til plantelagunen. Det er ikke optimalt, at en relativ stor andel af stof, som allerede er blevet fjernet i slamkegler og biofiltre og ført over i slambassiner, ledes tilbage til plantelagunen. Figur 25 viser, at der er et potentiale for yderligere reel stoffjernelse i produktionsanlægget for nogle stoffer, hvis tabet via klaringsvandet kunne reduceres eller f.eks. via rensning af klaringsvandet. Man skal dog være opmærksom på, at en del af stoftabet fjernes efterfølgende i plantelagunerne.



Figur 24 Stoffjernelse over slambassinerne på Tvilho Dambrug det andet måleår. Stoffinput til slambassinerne tilføres fra returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler i det samlede produktionsanlæg inkl. kummehus. Stoffindholdet i klaringsvandet er udtryk for den stofmængde, der tabes fra slambassinerne.



Figur 25 Stoffjernelse i Tvilho Dambrug i andet måleår. Summen af stof, fjernet i produktionsanlægget og over plantelagunerne samt tilført vandløbet er sat til 100 %. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er vist som brutto tilført slambassinerne, men da der bliver tilbageført stof med klaringsvandet til plantelagunerne er dette bidrag vist som en negativ stoffjernelse. Nettofjernelsen (%) er altså forskellen mellem den mørkeblå og den lyseblå søjle. Baseret på tabel 12 og 13.

10 Vandløbsfauna

10.1 Fysiske forhold i Nørrebæk

Strækningen, hvor opstrømsprøven udtages, er omgivet af natureng domineret af starrer og med indslag af bl.a. Benbræk og Majgøgeurt. Vandløbsbunden er sandet helt uden grus og sten, men der er alligevel variation i både bredde og dybdeforhold. Der er undervandsvegetation af især Smalbladet Mærke. Der er synlige okkerudfældninger i vandløbet. Vandløbet bliver formentlig ikke vedligeholdt. Det fysiske indeks er målt til 24-30 svarende til god fysisk tilstand (Pedersen *et al.*, 2007).

Strækningen nedstrøms Tvilho Dambrug er omgivet af en smal bræmme af eng. Vandløbsbunden er sandet med forekomst af bl.a. båndblade og Smalbladet Mærke. Vandløbet har kun ringe variation i dybde og bredde. Der er svage okkerudfældninger. De ensartede fysiske forhold tyder på vandløbsvedligeholdelse. Det fysiske indeks er målt til 17-20 svarende til moderat fysisk tilstand.

10.2 Smådyrsfauna

I alt 61 forskellige taxa er registreret i Nørrebæk op- og nedstrøms dambruget ved de fem prøvetagninger udført af DMU i december 2004 til maj 2007. Heraf er der fundet 8 arter af døgnfluer, 9 arter af slørvinger og 10 arter af vårfluer. Smådyrsfaunaen domineres antalsmæssigt af ferskvandstangloppen *Gammarus* og døgnfluer af slægten *Baetis*. Derudover har forskellige grupper, afhængigt af tidspunkt eller lokalitet, været talrige bl.a. slørvingerne *Amphinemura sp.* og *Nemoura avicularis*, børsteorme, vandmider, kvægmyg, stankelben (Dicranota) eller dansemyg. Blandt de rentvandskrævende arter af slørvinger kan nævnes *Taeniopteryx nebulosa*, *Protonemura meyeri*, *Amphinemura standfussi*, *Isoperla difformis*, samt arter af slægten *Leuctra*.

Artssammensætningen på stationerne op- og nedstrøms for dambruget varierer lidt med årstiden, men der er generelt ikke væsentlig forskel mellem faunaen op- og nedstrøms for dambruget. I et par tilfælde har der dog været en forøget forekomst af forureningstolerante smådyr nedstrøms for Tvilho Dambrug. I december 2004, inden produktionen var lagt om fra traditionel drift til modeldambrug, forekom børsteorme således noget hyppigere nedstrøms for dambruget end opstrøms. Efter omlægningen af produktionen har hyppigheden af kvægmyg i august 2005, juni 2006 og maj 2007 været kraftigt forøget nedstrøms for dambruget. Dette gælder ligeledes dansemyg af gruppen Tanytarsini i september 2006. Dette har dog ikke været tilfældet ved de øvrige prøvetagninger. Derudover har der ikke været væsentlige forskelle i forekomsten af forureningstolerante faunaelementer mellem opstrøms og nedstrøms lokaliteterne.

De rentvandskrævende slørvinger *Protonemura meyeri* og *Leuctra sp.* har varieret lidt i antal, men der er ikke nogen tydelig forskel mellem op- og nedstrømslokaliteterne.

Tilstanden udtrykt som Dansk Vandløbsfaunaindeks (DVFI) (*Skriver et al.*, 1999) ud fra smådyrsfaunaen har på begge lokaliteter gennem hele perioden ligget mellem DVFI 5 til 7 (tabel 16).

Der har overordnet ikke været forskel mellem op- og nedstrøms stationerne, og målsætningen er således opfyldt både op- og nedstrøms for Tvilho Dambrug ved alle prøvetagninger.

	DMU/amt	Nørrebæk, opstrøms	Nørrebæk, nedstrøms
Marts 2004	Ribe Amt	5	5
December 2004	DMU	5	6
April 2005	Ribe Amt	5	5
August 2005	Ribe Amt	5	7
September 2005	DMU	7	5
Februar 2006	Ribe Amt	5	5
Juni 2006	DMU	5	5
September 2006	DMU	6	5
Forår 2007	Vejen Kommune	5	6
Maj 2007	DMU	5	5

Tabel 16 Tilstanden i Nørrebæk op- og nedstrøms Tvilho Dambrug udtrykt som Dansk Vandløbsfaunaindeks, DVFI. Målinger foretaget af henholdsvis Ribe Amt, Vejen Kommune og DMU.

11 Planter i plantelagunerne

På baggrund af opmålinger af de grødefyldte bassiner som udgør plantelagunen kan denne karakteriseres som angivet i tabel 17.

Tvilho Dambrug	
Antal grødefyldte bassiner / kanaler	3 bassiner
Samlet areal	1.375 m ²
Middeldybde	1,0 m
Samlet volumen	1.375 m ³
Gennemstrømning	Måleår 1: 18,4 l/s Måleår 2: 19,7 l/s
Beregnet opholdstid (middel)	Måleår 1: 20,8 timer Måleår 2: 19,3 timer

Tabel 17 Antal bassiner/kanaler, samt areal, middeldybde og volumen som plantelagunen består af på Tvilho Dambrug. På baggrund af den målte gennemstrømning er den gennemsnitlige opholdstid beregnet.

Registrering af plantedækning og forekomst af de enkelte arter er foretaget i de 3 bassiner. Registrering af vegetationens samlede dækning, samt dækning af forekommende plantearter er foretaget på en 6 trin skala (0-5, 5-10, 10-25, 25-50, 50-75, 75-100 % dækning). Ved maksimal udvikling af vegetationen i september 2006 og september 2007 er der udtaget prøver fra de dominerende plantearter til bestemmelse af tørvægt pr. m². Efterfølgende er planterne i laboratoriet blevet analyseret for indhold af kvælstof og fosfor, således at planternes samlede indhold af kvælstof og fosfor gennem året kan beregnes. I tabel 18 findes en oversigt med indholdet af kvælstof og fosfor pr. gram tørvægt af de enkelte plantearter.

Art	Kvælstof	Fosfor
	(g N pr. kg tørvægt)	(g P pr. kg tørvægt)
Brøndkarse (n=8)	52,0	7,4
Vandpest (n = 9)	48,3	14,8
Vandstjerne (n=2)	53,9	28,6
Sødgræs (n=26)	33,8	4,3
Liden Andemad (n = 28)	49,6	8,7
Trådalger (n = 5)	41,1	8,5

Tabel 18 Indhold af kvælstof og fosfor (i gram pr. kg tørvægt) i de seks dominerende plantearter i de grødefyldte bassiner i Tvilho Dambrug. Indholdet af kvælstof og fosfor er målt i prøver ved maksimal plantedækning (september 2006 og 2007). Antallet af prøver (n) er angivet for hver plantearter. Sødgræs i de grødefyldte bassiner består 50 % af Manna Sødgræs og 50 % af Høj Sødgræs (vægtede gennemsnit for både kvælstof- og fosfor værdier).

I alt 19 vandplantearter er fundet ved de 11 registreringer af grødedækningen i bassinerne i perioden september 2005 til september 2007. Den samlede dækningsgrad af vandplanterne varierede mellem 17 % og 82 % med maksimum ved prøvetagningen i juli 2006 (figur 26). Den samlede tørvægt af de dominerende 6 plantearter i plantebassinerne varierede fra 126-137 kg i forårsperioderne i 2006-07 til 321-454 kg i sensommer og efterårsperioderne (tabel 19).

Vurderet ud fra planternes dækningsgrad var trådalger, Brøndkarse og Vandpest dominerende ved henholdsvis 6, 4 og 1 af de 11 prøvetagninger (figur 26). Baseret på planternes tørvægt var Sødgræs imidlertid dominerende ved 7 prøvetagninger på trods af, at dækningen af Sødgræs på intet tidspunkt nåede over 10 % (figur 26). Årsagen hertil er at Sødgræs har den klart største tørvægt pr. m² af de registrerede plantearter. Ved de 4 prøvetagninger i sommer- og efterårsmånederne i 2006 og 2007 dominerede Brøndkarse i tre tilfælde og Vandpest en enkelt gang den samlede tørvægt af planterne (tabel 19 og figur 26).

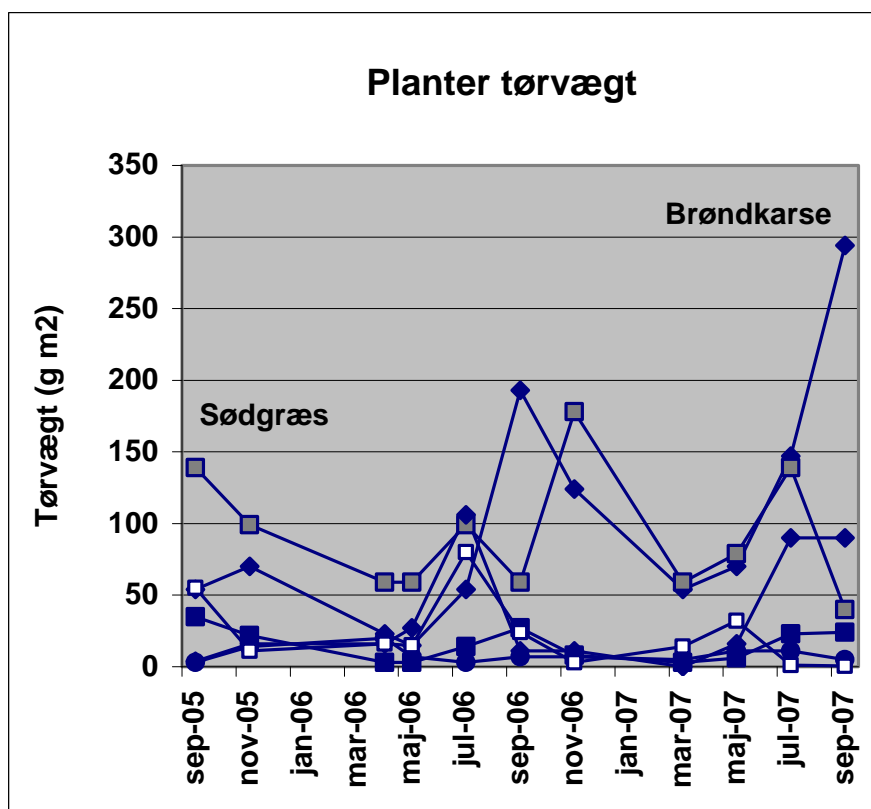
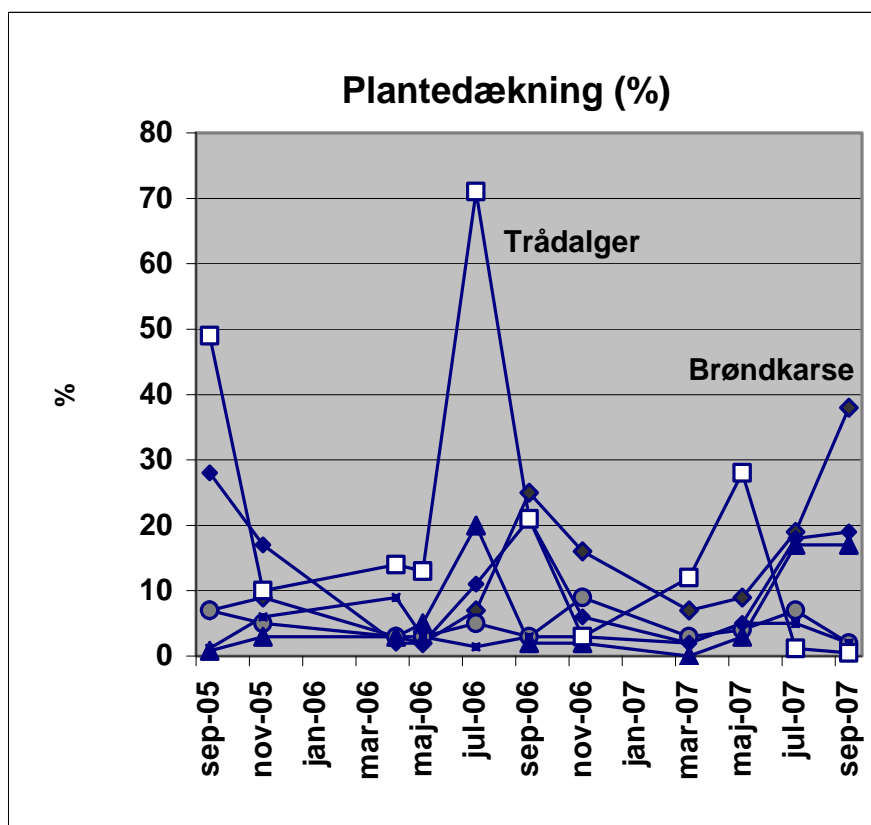
	Dækning (%)		Tørvægt (gram m ⁻²)	
	marts-maj	sept.-nov.	marts-maj	sept.-nov.
Brøndkarse	2-9	16-38	11-51	90-214
Vandpest	0-5	2-17	0-20	8-65
Vandstjerne	2-9	2-3	3,6-15	3,6-5
Sødgræs	3-4	2-9	43-57	29-129
Liden Andemad	2-5	6-21	2,2-4,4	6-20
Trådalger	12-28	0,5-21	10-23	0,8-17

Tabel 19 Dækningsgrad og tørvægt af de 6 hyppigst forekommende plantearter i de grødefyldte bassiner i Tvilho Dambrug i perioden september 2005 til september 2007.

Hen gennem perioden september 2005 til september 2007 var der en tydelig tendens til at trådalgerne, som kræver meget lys, fik kvantitativt mindre betydning i plantelagunerne, idet trådalgerne i periodens slutning kun var betydende i forår og tidlig sommer. I modsætning hertil udvikledes Brøndkarsen kraftigere for hvert år og opnåede i de tre efterårsperioder en maksimal tørvægt for hele anlægget på henholdsvis 70, 193 og 294 kg (figur 26).

	Tørvægt		Kvælstof		Fosfor	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Hele anlægget (kg)	126	454	5,1	22,5	0,8	4
Gram pr. m ²	92	330	3,7	16,4	0,6	2,9

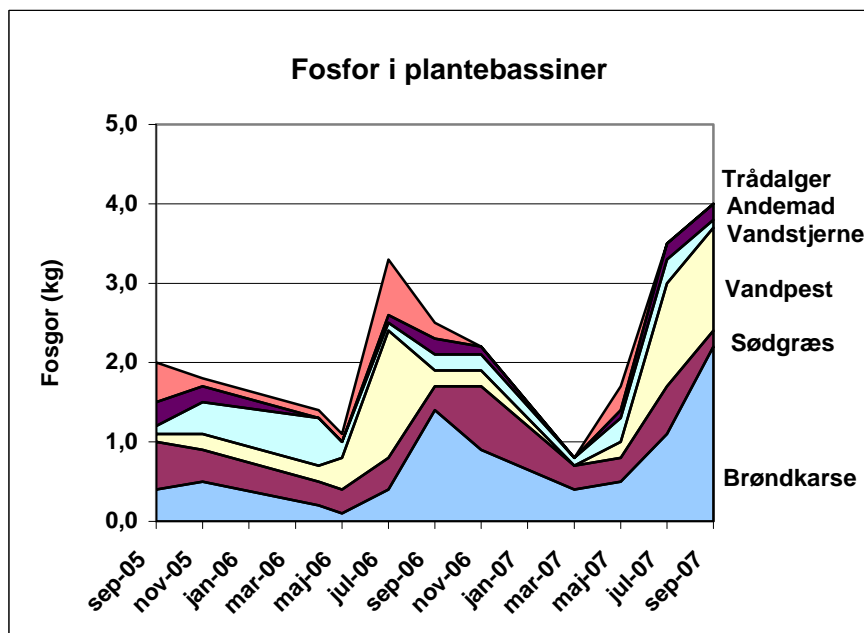
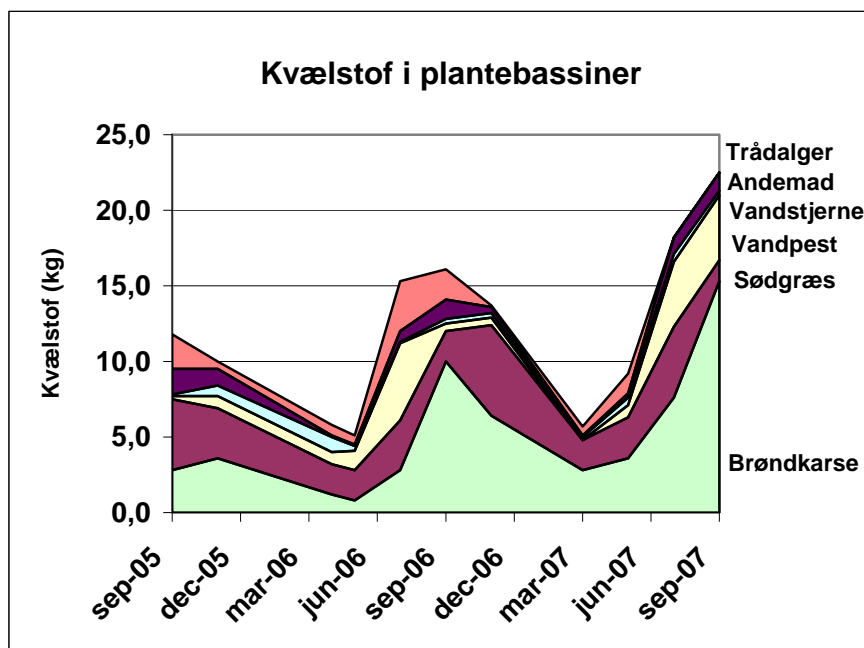
Tabel 20 De minimale og maksimale værdier af planternes tørvægt samt indhold af kvælstof og fosfor for hele det grødefyldte afsnit i Tvilho Dambrug i perioden september 2005 til september 2007. Den minimale og maksimale tørvægt af de seks dominerende plantearter samt planternes indhold af kvælstof og fosfor er endvidere angivet pr. m² for bassinerne som helhed.



Figur 26 Planternes forekomst i de grødefyldte bassiner i Tvilho Dambrug udtrykt som plantedækning (%) og kg tørvægt i hele systemet. Brøndkarse får stigende kvantitativ betydning i sensommer og efterår hen gennem undersøgelsesperioden.

Mængden af fosfor bundet i de grødefyldte bassiners planter udviser overordnet set samme sæsondynamik som for kvælstof med minimum i vinter og forår og tilsvarende maksimum i sensommer og efterår (figur 27). Fordelingen af fosformængden på de enkelte plantearter er dog mere jævn, idet Vandpest og Vandstjerne relativt set har et væsentligt højere fosforindhold end Brøndkarse og Sødgræs. Ved maksimal plantebiomasse i efteråret 2007, hvor Brøndkarse udgør ca. 65 % af den samlede tørvægt er ca. 55 % af den samlede fosformængde i planterne bundet i Brøndkarse.

I forhold til udledningen kan det konstateres, at den direkte næringsstofbinding i de højere planter reelt er næsten uden betydning for de samlede massebalancer over dambruget, idet de maksimalt udgør 0,5 % af kvælstoffet og 1,5 % af fosforen.



Figur 27 Kvælstof og fosfor bundet i plantebiomassen i de seks dominerende plantearter i de grødefyldte bassiner i Tvilho Dambrug.

12 Diskussion

I dette kapitel er der en kort diskussion omkring nogle væsentlige problemstillinger vedr. måleresultaterne for andet måleår på Tvilho Dambrug, supplerende den diskussion, der findes i de enkelte kapitler. Endvidere foretages der nogle sammenligninger med første måleår, således at de overordnede resultater for hele den toårige forsøgsperiode ved dambruget vurderes og diskuteres. Hvor det er fagligt muligt, drages konklusioner ift. resultaterne for Tvilho Dambrug. Det er ikke hensigten i statusrapporten at gå i dybden omkring en række resultater, dette sker i den faglige samlerapport for de otte modeldambrug. Egentlige sammenligninger med resultater fra de øvrige modeldambrug under forsøgsordningen sker også kun i den faglige samlerapport, der kommer med de generelle konklusioner og faglige anbefalinger for hele forsøgsprojektet.

Første måleår (år 1) omfatter 25. april 2005 til 24. april 2006 (år 2) og andet måleår 25. april 2006 til 24. april 2007. I forhold til første måleår er der sket en genberegning af produktionsbidraget, som igen betyder at de beregnede rensegrader er blevet justeret ift. første års statusrapport (Svendsen et al., 2006).

Vandforbrug, -flow og opholdstid

I det første måleår blev der indtaget 17,6 l/s friskvand og i det andet 15,5 l/s mod et tilladt forbrug på 17 l/s. Det interne vandflow er estimeret til 200-300 l/s i hver produktionsenhed med en recirkuleringsgrad på 98-99 %. For et modeldambrug type III er forudsat en recirkuleringsgrad på mindst 95 %. Vandforbruget var i første måleår ca. 5.000 l vand og i andet tilsvarende 3.800 l pr. kg produceret fisk; en faktor 10-15 lavere end i traditionelle gennemstrømningsanlæg.

Over produktionsanlægget er der et mindre vandtab på 1,3 l/s første måleår og en netto indsivning på 1,6 l/s i det andet, hvilket formentlig skyldes utætheder i anlægget. I det andet måleår faldt der ca. 40 % mere nedbør end i det første, hvorfor grundvandsstanden har været højere i andet måleår, som kan være forklaringen på forskellen de to måleår. Der har i begge måleår været en nettoindsivning til plantelagunen på hhv. 2,1 l/s (13 %) og 2,6 l/s (16 %), hvilket vurderes fortrinsvist at være tilstrømning af overfladenært grundvand med tilhørende især opløste stoffer.

Opholdstiden i det samlede produktionsanlæg har i gennemsnit været 26 timer i første og 30 timer i andet måleår og for hele dambruget henholdsvis 48 og 55 timer. *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* forudsætter en opholdstid på mindst 18,5 timer i produktionsanlægget. Med en opholdstid på godt 2 døgn vil man umiddelbart forvente at hovedparten af det let omsættelige organiske stof (BI₅) bliver omsat inden afløb til recipienten (Fjorback et al., 2003), ikke mindst ved højere temperaturer om sommeren, hvor også BI₅-bidraget fra fiskeproduktionen er størst.

Plantelagune

Den hydrauliske belastning af plantelagunerne på 0,012 l pr. m² er ca. halvdelen af den maksimalt tilladte belastning (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*). Det vurderes ikke at være et problem ift. til hovedparten af de omsætningsprocesser, der sker i plantelagunerne og det burde kunne øge sedimentation af partikler. Såfremt plantevæksten er beskednen vil langsomt flydende vand øge risikoen for en opblomstring af trådalger, hvilket faktisk har været konstateret på Tvilho Dambrug i første måleår, men kun i beskedent omfang i det andet måleår. Opholdstiden i plantelagunen er som gennemsnit beregnet til hhv. 22 timer (år 1) og 25 timer.

Ved starten af første måleår var der en relativ beskednen plantevækst, hvorfor der i foråret og sommeren 2005 kom en ret kraftig opvækst af trådalger. Trådalgerne betydning aftog i andet måleår, hvorimod Brøndkarse har udviklet sig kraftigere og kraftigere gennem de to måleår. Dækningsgrad og biomasse er størst fra sensommeren frem til sent efterår og har været størst i andet måleår, dels grundet den milde vinter 2006/07 og dels fordi planterne etablerer sig på et større areal. Den maksimale biomasse i 2007 var op til ca. 450-550 gram pr. m² (svarende til ca. 320-450 kg plantemasse (tørvægt) i plantelagunen), mens der sidst på vinteren 2005/06 var et minimum på ca. 100 gram pr. m². Der blev fundet 19 plantearter, hvor de tre dominerende er trådalger, Brøndkarse og Vandpest bedømt ud fra dækningsgrad, men baseret på tørvægt dominerer Sødgræs ved de fleste prøvetagninger, selv om dækningen aldrig er over 10 %, fordi denne art har langt den størst tørvægt pr. m².

Baseret på bestemmelse af indholdet af kvælstof og fosfor i de dominerende plantearter på modeldambruget (Sødgræs, Liden Andemad, Vandpest, Vandstjerne, Brøndkarse og Trådalger) er det beregnet, at på det tidspunkt, hvor biomassen i 2007 er størst i plantelagunen har planterne akkumuleret ca. 23 kg kvælstof (ca. 17 g N pr. m²) og 4 kg fosfor (2,9 g P pr. m²). Sammenlignet med den samlede fjernelse/tilbageholdelse af kvælstof og fosfor i plantelagunerne har akkumuleringen i de højere planter kun marginal betydning, svarende til hhv. 3 og 5 % af tilbageholdt mængde kvælstof og fosfor i plantelagunen. Herudover er planterne dog muligheder for omsættende mikroorganismer, ligesom planterne er med til at tilbageholde partikler og stabilisere aflejret materiale i bunden.

Foder og produktionsbidrag

Tvilho Dambrug har i første måleår samlet anvendt 92 og i andet måleår 106,2 tons foder, og dermed væsentligt under den tilladte foderkvote på 127,2 tons. Det begrænsede foderforbrug skyldes en del sygdomsproblemer i første måleår og tilsvarende mistedes næsten 10 tons fisk andet måleår ved en saltbehandling grundet fiskedråber. Dambruget sætter ikke fremmede fisk ind, så døde fisk kan ikke hurtigt erstattes. De opnåede resultater skal derfor ses i lyset heraf. Grundet utilstrækkelige registreringer har det ikke været muligt at beregne foderkvotient i andet måleår, der estimeres til 0,850, hvor det for første måleår på et spinkelt grundlag er beregnet til den flotte foderkvotient på 0,837. I den forbin-

delse skal det understreges at Tvilho Dambrug i begge måleår har haft mange små fisk, der traditionelt har en lav foderkvotient.

Produktionsbidraget for første år er genberegnet, da det gennemsnitlige indhold af kvælstof og fosfor i regnbueørred er blevet revideret ud fra resultater og litteraturstudier. Der anvendes nu lidt lavere værdier end foreskrevet i Dambrugsbekendtgørelsen, idet der regnes med 2,75 % kvælstof af fiskens totale vådvægt for hel fisk (300-800 g) mod hidtil anvendt 3 % og tilsvarende anvendes for fosfor 0,43 % mod hidtil 0,5 %. Justeringerne giver mindre stigninger i produktionsbidraget ift. de oprindeligt opgivne værdier i rapporten for første måleår (*Svendsen et. al., 2006*), hvilket også har den effekt at de beregnede rensegrader stiger lidt.

Endvidere er produktionsbidraget for organisk stof (BI₅ og COD) også opjusteret ift. rapporteringen af førsteårs-resultaterne. Nye undersøgelser på de mest anvendte fodertyper af det stofbidrag/-tab, der sker direkte til vandfasen (opløst eller finpartikulært) og derfor ikke indgår i den partikulære fækaliedel, har vist, at der oveni tabet med bundfældeligt/partikulært stof (fækalier) skal tillægges 43,5 % som mål for bidraget med opløst/finpartikulært stof.

Produktionsbidraget, der er baseret på foderanalyser af næsten alle batches samt fordøjelighedsforsøg, der i det andet måleår omfattede en af de anvendte foderleverancer, er beregnet for ammonium-kvælstof, total-kvælstof, total fosfor, BI₅ og COD. Selv om konkrete målinger af foder-spild, bl.a. i maj-juni 2006 på Tvilho Dambrug, har vist at dette er minimalt ved normal drift, er det sat til 1 % for tab med støv og smuld og et antaget, mindre spild f.eks. ved unormale driftsforhold.

Produktionsbidraget er som ventet hovedkilden for stoftilførsel til dambruget, idet stoftilførsel med indtagsvand kun udgør fra godt 6 % for ammonium-kvælstof, 10-15 % for BI₅, total fosfor og COD og op til 25 % for total-kvælstof af den samlede stoftilførsel til Tvilho Dambrug i begge måleår.

Stofkoncentrationer

Stofkoncentrationen i afløbet fra Tvilho Dambrug har i andet måleår i gennemsnit været lavere for ammonium-kvælstof, total fosfor, BI₅ og suspenderet stof men højere for nitrat og total kvælstof samt COD. Til gengæld er standardafvigelsen faldet for alle kemiske komponenter i afløbet fra dambruget, hvilket er indikation på en stabilisering af drifts- og produktionsforholdene sammenlignet med første måleår.

Ammonium-koncentrationen i afløbet fra produktionsanlægget varierer en del i starten af første måleår og falder overordnet gradvist gennem de to første måleår. Ikke overraskende sker der samtidigt en stigning i nitratkoncentrationen fra første til andet måleår i produktionsanlægget grundet biofiltrenes ammoniumomsætning. Ammoniumkvælstofkoncentrationen er i sommeren over 5 mg/l, men er ellers under 2-3 mg/l og dermed lav i produktionsanlægget, som tegn på god nitrifikation i biofiltrene. Total fosforkoncentrationen falder, det samme gør BI₅, mens COD stiger. Der er opnået forbedrede driftsrutiner i år to, et reduceret vandforbrug, aktivitet og biofilm i biofiltrene er blevet etableret, men samtidigt har der været et større foderforbrug og også anvendt andre

fodertyper, hvorfor der ikke kan gives en entydig forklaring på de målte koncentrationsudviklinger for alle kemiske komponenter. Slambassinerne har virket væsentligt bedre i andet måleår, hvor der er sket en markant reduktion af koncentrationen og variationen heri for alle stoffer i klaringsvandet.

I afløbet fra dambruget er der observeret et fald i koncentrationen for ammonium, total fosfor, suspenderet stof og BI₅, men en stigning for de resterende kemiske komponenter. Koncentrationsvariationen er faldet fra første til andet måleår. En sådan stabilisering kan tilskrives dels forøget plantemængde i plantelagunen og mere stabile afløbsforhold fra produktionsanlægget samt via klaringsvandet. Endvidere vil den øgede netto-indsivning af vand til plantelagunen i andet måleår medvirke til at stabilisere koncentrationen i afløbet. Der er i andet måleår sket en forøget tilførsel af nitrat og total kvælstof samt af vand til plantelagunen, hvilket bidrager til den reducerede rensesgrad heri.

Stofudledning pr kg produceret fisk

Den målte netto total kvælstof-udledning i gram pr. kg produceret fisk de to måleår (24-29 g) har været noget højere end ellers set på modeldambrugene og f.eks. målt under det tidligere forsøgsprojekt på Døstrup Dambrug (5-11 g) (*Fjorback et al., 2003*). Til gengæld har den specifikke udledning af ammonium-kvælstof (godt 3 g), total fosfor (1,5 g) og BI₅ (8-9 g) fra Tvilho Dambrug været lavere end udledningen fra Døstrup Dambrug (hhv. 4-6 g, 2 g og 20-28 g). Ved sammenligning skal der tages højde for at Døstrup Dambrug havde et betydeligt stofbidrag med indtagsvandet, således at stofudledningen betinget af fiskeproduktionen var svær at bestemme entydigt.

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelse for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t BI₅, 1.119 t total-N og 90 t total-P ved en produktion på 29.434 t ørreder. Heraf kan beregnes gennemsnitlige specifikke udledninger til sammenligning med de målte på Tvilho Dambrug (tabel 15).

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)			Tvilho i % af gennemsnit DK	
	Gennemsnit Danmark	Tvilho Dambrug - 1. måleår	Tvilho Dambrug - 2. måleår	1. måleår	2. måleår
Organisk stof (BI ₅)	105,3	7,9	9,4	8	9
Total-N	38,0	24	29	63	76
Total-P	3,1	1,5	1,5	48	48

Tabel 21. Specifikke udledninger netto som gennemsnit for ferskvandsdambrug i Danmarks (i 2003) og for Tvilho Dambrug det første måleår: I sidste kolonne er de specifikke tab ved Tvilho Dambrug angivet i procent af gennemsnittet for ferskvandsdambrug i Danmark.

Tvilho Dambrug har omtrent halveret den specifikke udledning af total fosfor, reduceret den specifikke kvælstof udledning med mellem 25 og 35 % ved sammenligning med traditionelle dambrug, mens reduktionen i udledningen af organisk stof har været meget markant. Den specifikke udledning er i et vist omfang reduceret grundet stoftilførsel med indsivningsvand til plantelagunen, men der er for ikke mindst kvælstof et klart potentiale for yderligere stoffjernelse. Dette bør, i det mindste delvist, kunne opnås via forøget denitrifikation i plantelagunen (se nedenfor).

Stoffjernelse og rensegrader

De forskellige renseforanstaltninger har forskellig effektivitet overfor de forskellige stoffer, der tilføres, hvorfor den andel af stoftilførslen som via afløbet fra dambruget tabes til Nørrebækken er temmelig forskellig. 20 % af det totalt tilførte ammonium-kvælstof i første måleår og 16 % i det andet når Nørrebækken og de tilsvarende værdier for total kvælstof er hhv. hele 73 og 85 %. Der udledes også en betydelig andel af total fosfor, nemlig 37 % i første og 40 % i andet måleår. For organisk stof er rensningen meget bedre, de tilsvarende udledninger for BI_5 er henholdsvis 23 og 21 % og for COD 29 og 34 %. Ca. 2/3 af den fosfor som udledes er på opløst og dermed biotilgængelig form. En vis andel af tilførslen til Nørrebækken er fra det indtagne vand og det vand der netto indsiver i plantelagunen, som alligevel ville være nået frem til vandløbet længere nedstrøms. Det faktiske stoftab fra dambruget grundet fiskeproduktionen er således reelt lavere end de målte tal viser.

Nettoindsivningen over især plantelagunen på 13 % i første måleår og godt 16 % i det andet giver en tilførsel af især opløste stoffer som ammonium, nitrat og opløst fosfor, og medfører at rensegraden over plantelagunen bliver lavere, hvis der ikke korrigeres for denne tilførsel. Der er derfor gennemført en beregning af korrigerede rensegrader over plantelagunen for begge måleår, hvor den stofmængde der tilføres via nettoindsivningen konservativt er estimeret ud fra de koncentrationer, der er målt i indtagsvandet det første måleår.

De opnåede nettorensgrader (dvs. stoffjernelsen relateret til produktionsbidraget) over Tvilho Dambrug har været hhv. 71 % og 65 % i de to måleår for total fosfor. For BI_5 har det været 88 % og 87 %. Derved ligger de opnåede rensegrader noget over forudsætningerne for modeldambrug (*Bekendtgørelse for modeldambrug, 2002*) på henholdsvis 60 og 75 % for et modeldambrug type III uden mikrosigter. For total kvælstof har nettorensgraden på hhv. 34 % (år 1) og 20 % været over forudsætningen i første måleår, men lidt under i andet, da de 1.375 m² plantelagune giver en forudsat fjernelse på 22 % af produktionsbidraget. Nettorensgraden for ammonium kvælstof stiger fra 88 til 90 % fra første til andet måleår trods øget foderforbrug, hvilket kan tilskrives biofiltrenes etablerede biofilm, og der kommer gang i nitrifikationen også via forbedrede i løbet af måleperioden. Nitrat og total kvælstof tilførslen øges til gengæld i andet måleår til plantelagunen, som samtidig med en øget nettoindsivning af vand til plantelagunen bidrager til en reduceret rensegrad for total kvælstof over Tvilho Dambrug i andet måleår.

I selve produktionsanlægget fjernes i andet måleår 47 % af det total fosfor der tilføres med dambruget med produktionsbidraget og indtagsvandet via renseforanstaltningerne i produktionsanlægget inklusiv slambassiner, når der tages højde for tab af stof med klaringsvandet. Tilsvarende fjernes 63 % af COD, 74 % af BI_5 og hele 79 % af ammonium kvælstof. Til gengæld fjernes der kun 8 % af total kvælstof. Sammenlignet med første måleår er den procentuelle fjernelse over produktionsanlægget korrigeret for tab med klaringsvandet i andet måleår markant højere for total fosfor (54 % mod 20 %) og BI_5 (74 % mod 54 %) og for ammonium kvælstof og COD 10-12 procentpoint højere. Disse højere fjernelser i produktionsanlægget kan umiddelbart kobles til ændringer i de anvendte fodertyper, idet produktionsbidraget fra fodertyperne Ecolife

20 og 21 i noget højere grad end Ecolife 19 forekommer på partikulær form, hvorved fjernelsesmulighederne i slamkegler og via biofilterskyl øges betydeligt.

I andet måleår foregår den største procentuelle stoffjernelse i plantelagunen for total fosfor (13 %), mens der kun fjernes 3-7 % for de øvrige stoffer. Den relative stoffjernelse i plantelagunen har været væsentligt lavere for alle stoffer i andet måleår, hvilket dels kan tilskrives en større stoftilførsel via nettoindsivning, dels at renseforanstaltningerne i produktionsanlægget og slambassinerne har været bedre. Det er dog alligevel overraskende at plantelagunen trods øget plantevækst og lidt højere opholdstid har haft lavere rensegrader i andet måleår. Potentialet for yderligere stoffjernelse i plantelagunen er vanskelig at vurdere fuldt ud, da renseforanstaltningerne i produktionsanlægget fjerner en del stof, som plantelagunerne potentielt kunne fjerne, men det forekommer bl.a. som om sedimentation ikke finder ordentlig sted i hele plantelagunen, idet der måles meget lave fjernelse af normalt sedimentérbare komponenter som f.eks. suspenderet stof og organisk stof samt relativt højt iltindhold i lagunen. En pæn andel af det partikulære materiale tilføres plantelagunen via klaringsvandet, som ledes til denne langt nedstrøms, hvorfor opholdstiden for denne del af tilførslen er lav. Da de organiske stoffer hverken sedimenterer eller omsættes, sker der formentlig heller ikke et stort bundnært iltforbrug i plantelagunen, hvorved betingelserne (lav ilt, let omsætteligt organisk stof) for optimal denitrifikation heller ikke er til stede, hvorfor også nitratfjernelsen bliver meget begrænset.

Betragtes de korrigerede rensegrader over plantelagunen så omsætter/tilbageholder den i andet måleår ca. 30 % af det ammonium, opløst og total fosfor samt BI_5 , som der tilføres og ca. 20 % af tilførte suspenderede stof, total kvælstof og COD. Disse korrigerede rensegrader er kun ca. det halve af første måleår. Planterne i plantelagunen optager nitrat og opløst fosfor, men dette er dog af mindre betydning. Ved maksimal biomasse er det beregnet, at der er indbygget ca. 22 kg kvælstof svarende til 3 % af det total kvælstof, der fjernes/tilbageholdes i plantelagunen i andet måleår (korrigerede værdier). Tilsvarende er der indbygget godt 4 kg fosfor svarende til ca. 5 % af tilbageholdt fosfor. Da der sker både tab og opbygning af biomasse gennem vækstsæsonen er dette et minimumsmål for optag af kvælstof og fosfor i planterne, men der vil kun være tale om en reel stoffjernelse hvis plantematerialet høstes. Betydningen af næringsstofoptaget i planter er lavere end målt på Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*).

Generelt fjerner renseforanstaltningerne i produktionsanlægget meget fosfor og organisk stof. Slambassinerne er i andet måleår blevet væsentlig mere effektive, formentlig bl.a. fordi afløbsrøret nedstrøms i slambassinet er hævet, så det er mere klaret vand der løber fra slambassinet. Der er dog stadig et ret stort tab af fosfor, hvor 40 % af tilførslen tabes, mens ca. 13-17 % af organisk stof og suspenderet stof tabes. Hovedparten af det tilførte kvælstof til slambassinerne tabes med klaringsvandet. Mængdemæssigt udgør det suspenderede stof og ammonium-kvælstof som føres til plantelagunen med klaringsvandet en større andel end det som tilføres ved afledning fra selve produktionsanlægget. Det er derfor af betydning at sikre at udledninger med klaringsvand begrænses. Det er u hensigtsmæssigt at stof, der reelt er fjernet og opsamlet i slambassinerne i større omfang ledes til plantelagunen, men det skal dog erindres, at

det normalt er nødvendigt med en vis tilførsel af let omsætteligt organisk stof til plantelagunen for at drive denitrifikationen deri.

Mulighederne for at fjerne hovedparten af den ammonium, der udledes med klaringsvand og fra produktionsanlæg undersøges p.t. gennem en ekstra renseforanstaltning (særskilt biofilter), før det ledes til plantelagunesystemet. Det kunne også være hensigtsmæssigt såfremt slamvand fra slamkegler og returskylning af biofilter kunne sikres i slambassinerne nogle timer, inden der blev åbnet for tilledning af klaringsvand til plantelagunerne.

Plantelagunerne har opfyldt forventninger og forudsætningerne til stofjernelse, selv om der sammenlignet med Døstrup Dambrug er flere opstrøms renseforanstaltninger forinden. Kvælstoffjernelsen har med henholdsvis 2,3 (1. måleår) og 1,5 kg N pr m² pr. dag (korrigerede værdier) været over forudsætningerne i begge måleår på 1 kg N pr m² pr. dag. For ammonium-kvælstof og total fosfor har stoffjernelsen pr. m² plantelagune (korrigerede værdier) været ca. 2- 3 gange højere og for BI₅ ca. 50 % lavere end resultaterne fra Døstrup Dambrug. Der er ikke nogen entydig forklaring herpå, men det forekommer klart som om der er utilstrækkelig sedimentation i plantelagunerne trods den beregnede opholdstid. Dette kan utvivlsomt bl.a. tilskrives, at klaringsvandet ledes ind langt nedstrøms i plantelagunen, så den reelle opholdstid for dette er væsentlig lavere end gennemsnittet. Endvidere kan "sø-formen" på plantelagunen måske være med til at fremme præferencestrømme, hvor en del vand og stof løber hurtigere gennem plantelagunen. Disse to forhold vil begge begrænse den ønskede sekvens med: organisk stof-nedbrydning, førende til lavt ilt niveau bundnært, faciliterende denitrifikation med yderligere organisk stofforbrug.

Endelig giver det en usikkerhed på især de beregnede rensegrader for opløste stoffer, at der har været en ret stor nettoindsivning andet måleår som skal estimeres.

Fjernelsen af ammonium er forbedret efter indkøring af biofiltrene og slambassinerne har i andet måleår tilbageholdt væsentligt bedre. Der er behov for yderligere kvælstoffjernelse over dambruget, hvis den tilladte foderkvote under forsøgsordningen skal fastholdes endsige forøges uden at øge udledningen af kvælstof. Det vil bl.a. kunne ske gennem efterbehandling af afledt vand fra produktionsanlæg og klaringsvand via særskilte biofiltre med nitrifikation og denitrifikation, ligesom omsætningen i plantelagunen formentlig vil kunne øges., når der med tiden bl.a. etableres en større plantedækningsgrad og biomasse. Betydelig effekt vil dog formentlig umiddelbart kunne opnås via flytning af tilledningsstedet for slambedsøverløbet.

Udlederkrav

Ribe Amt har i miljøgodkendelsen forlangt, der skal udføres en tilstandskontrol på alle parametre efter DS2399 og hvor udlederkravene angives som tilladte koncentrationsforøgelser ift. indtagsvandet. Kontrol efter DS2399 er en kontrol alene på udledningerne og udlederkontrollen kan rent fagligt ikke gennemføres for de tilfælde, hvor koncentrationen i indtagsvandet er større end i afløbet fra dambruget. Der er derfor også

lavet en sædvanlig udlederkontrol, som angivet i Bekendtgørelse om modeldambrug, men med tilstandskontrol for alle parametre.

Denne udlederkontrol viser, at i det første måleår, hvor der kun blev anvendt 73 % af foderkvoten, overskrides udlederkravet for ammoniumkvælstof (med 20 %) og for total fosfor. De øvrige udlederkrav overholdes selvom total kvælstof dog ligger på 95 % heraf. I det andet måleår, hvor foderforbruget har været på 84 % af foderkvoten, overskrides udlederkravet for ammoniumkvælstof med 36 % og for total kvælstof med 33 %, mens der er klar overholdelse af udlederkravværdierne for de øvrige kontrolparametre. I andet måleår ville alle udlederkrav, på nær total kvælstof, være opfyldt, såfremt der udføres sædvanlig udlederkontrol som angivet i Bekendtgørelse om modeldambrug og gives fuld kompensation på udlederkravene ift. reduktionen i vandforbruget i forhold til tidligere drift (reduktion med en faktor 8,82). Nettoindsivning af vand over plantelagunen vil alt andet lige reducere koncentrationen i udledningerne og dæmpede variabiliteten.

Den manglende overholdelse af tilladelsens udlederkrav for total kvælstof, selv hvis der var givet fuld kompensation for det reducerede vandforbrug, betyder, at for Tvilho Dambrug er der behov for en forbedret kvælstoffjernelse. Kvælstof er i forvejen den kritiske parameter ift. modeldambrugene under forsøgsordningen da der ved fodertildelingen er set bort fra kvælstof som første begrænsende faktor (*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002) og Pedersen et al. (2003)*). Tabet med klaringsvandet er reduceret i andet måleår, mens plantelagunerne fjerner mindre kvælstof pr. m², men dog stadig lever op til forudsætningen. Det er vigtigt at sikre en tilstrækkelig fjernelse af kvælstof, i såvel produktionsanlægget som med klaringsvandet fra slambassinet som i plantelagunen, for at bevare den tildelte foderkvote under forsøgsordningen eller for den sags skyld at kunne få den forøget.

Vandløbsfauna

Målsætningen i Nørrebækken, som er DVFI lig 5, har været opfyldt ved samtlige vandløbsbedømmelser foretaget såvel op- som nedstrøms dambruget i perioden marts 2004 – maj 2007. De fysiske forhold opstrøms er lidt bedre end nedenfor dambruget. Selv om der ved nogle prøvetagninger har været registreret større forekomst af forureningstolerante art er nedstrøms dambruget både før og efter ombygningen til modeldambrug har der overordnet set ikke været forskel mellem op- og nedstrøms stationerne. Der ses derfor ikke nogen entydig effekt på vandløbsets smådyrsfauna som følge af omlægningen fra traditionelt dambrug til modeldambrug.

13 Litteraturliste

Bekendtgørelse om modeldambrug (2002). Bekendtgørelse om modeldambrug. 10 s. - BEK nr. 923 af 08/11/2002 pp.

Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004). Bekendt om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug. 2 s. - BEK nr. 328 af 15/03/2004.

Dambrugsudvalget (2002). Dambrugsudvalget. Udvalget vedr. dambrugs-erhvervets udviklingsmuligheder. 78 s. Rapport. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Dansk Standard (1999). DS 2399 Afløbskontrol. Statistisk kontrolberegning af afløbsdata.

Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. & Riis-Vestergaard, J. (2003) Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Danmarks Miljøundersøgelser. 272 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260.

Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998). Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Danmarks Miljøundersøgelser. 86 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260.

Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998). Notat vedr. tilpasning af udlederkontrol ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser.

Miljøstyrelsen (1998). Biologisk vandløbsbedømmelse af vandløbskvalitet. Miljø- og Energiministeriet. 39 s. - Vejledning nr. 5/1998.

Pedersen, M. L., Baattrup-Pedersen, A & Wiberg-Larsen, P. (red) (2007). Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-09. 3. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 150 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 21.

Pedersen, P.B. Grønberg, O., & Svendsen, L.M. (red.) (2003). Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejdsgruppe. 82 s. - Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183

Ribe Amt (2004). Miljøgodkendelse af Tvilho Dambrug, 27s.

Skriver, J., Riis, T., Carl, J., Friberg, N., Ernst, M.E., Frandsen, S.B., Sode, A. & Wiberg-Larsen, P. (1999). Biologisk overvågning i vandløb 1998-2003. Biologisk vandløbskvalitet (DVFI). Udvidet biologisk program. NOVANA2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 41 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 16.

Svendsen, L.M. & Pedersen, P.B. (reds.) (2004). En undersøgelse af muligheder for etablering af måleprogram på såkaldte modeldambrug. 118 s. - DFU-rapport nr. 132-04,118 p.

Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S. & Dalsgaard, A.J.T. (2006). Tvilho Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitreringsprojektet. 51 s. – DFU-rapport nr. 168-06.

Thomsen, L., Bo-Holm Andersen, L. (2006). Udvikling af metoder til opsamling af foderspild i modeldambrug. Speciale på Fiskeriteknologuddannelsen, Aalborg Universitet Esbjerg, juni 2006, 76 pp.

DTU Aqua-rapportindex

Denne liste dækker rapporter udgivet i indeværende år samt de foregående to kalenderår. Hele listen kan ses på DTU Aquas hjemmeside www.dfu.dtu.dk, hvor de fleste nyere rapporter også findes som PDF-filer.

- Nr. 158-06 Østers (*Ostrea edulis*) i Limfjorden. Per Sand Kristensen og Erik Hoffmann
- Nr. 159-06 Optimering af fangstværdien for jomfruhummere (*Nephrops norvegicus*) – forsøg med fangst og opbevaring af levende jomfruhummere. Lars-Flemming Pedersen
- Nr. 160-06 Undersøgelse af smoltudtrækket fra Skjern Å samt smoltdødelighed ved passage af Ringkøbing Fjord 2005. Anders Koed
- Nr. 161-06 Udsætning af geddeyngel i danske søer: Effektivurdering og perspektivering. Christian Skov, Lene Jacobsen, Søren Berg, Jimmi Olsen og Dorte Bekkevold
- Nr. 162-06 Avlsprogram for regnbueørred i Danmark. Alfred Jokumsen, Ivar Lund, Mark Henryon, Peer Berg, Torben Nielsen, Simon B. Madsen, Torben Filt Jensen og Peter Faber
- Nr. 162a-06 Avlsprogram for regnbueørred i Danmark. Bilagsrapport. Alfred Jokumsen, Ivar Lund, Mark Henryon, Peer Berg, Torben Nielsen, Simon B. Madsen, Torben Filt Jensen og Peter Faber
- Nr. 163-06 Skarven (*Phalacrocorax carbo sinensis* L.) og den spættede sæls (*Phoca vitulina* L.) indvirkning på fiskebestanden i Limfjorden: Ecopath modellering som redskab i økosystem beskrivelse. Rasmus Skoven
- Nr. 164-06 Kongeåens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 165-06 A pilot-study: Evaluating the possibility that Atlantic Herring (*Clupea harengus* L.) exerts a negative effect on lesser sandeel (*Ammodytes marinus*) in the North Sea, using IBTS-and TBM-data. Mikael van Deurs
- Nr. 166-06 Ejstrupholm Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 167-06 Blåmuslinge- og Stillehavssøstersbestanden i det danske Vadehav efteråret 2006. Per Sand Kristensen og Niels Jørgen Pihl
- Nr. 168-06 Tvilho Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.

- Nr. 169-07 Produktion af blødskaledede strandkrabber i Danmark - en ny marin akvakulturproduktion. Knud Fischer, Ulrik Cold, Kevin Jørgensen, Erling P. Larsen, Ole Saugmann Rasmussen og Jens J. Sloth.
- Nr. 170-07 Den invasive stillehavsøsters, *Crassostrea gigas*, i Limfjorden - inddragelse af borgere og interessenter i forslag til en forvaltningsplan. Helle Torp Christensen og Ingrid Elmedal.
- Nr. 171-07 Kystfodring og kystøkologi - Evaluering af revlefodring ud for Fjaltring. Josianne Støttrup, Per Dolmer, Maria Røjbek, Else Nielsen, Signe Ingvarsdén, Per Sørensen og Sune Riis Sørensen.
- Nr. 172-07 Løjstrup Dambrug (øst) - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 173-07 Tingkærvad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 174-07 Abildtrup Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoreringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 175-07 Nørå Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 176-07 Rens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 177-08 Implementering af mere selektive og skånsomme fiskerier – konklusioner, anbefalinger og perspektivering. J. Rasmus Nielsen, Svend Erik Andersen, Søren Eliassen, Hans Frost, Ole Jørgensen, Carsten Krog, Lone Grønbæk Kronbak, Christoph Mathiesen, Sten Munch-Petersen, Sten Sverdrup-Jensen og Niels Vestergaard.
- Nr. 178-08 Økosystemmodel for Ringkøbing Fjord - skarvbestandens påvirkning af fiskebestandene. Anne Johanne Dalsgaard, Villy Christensen, Hanne Nicolajsen, Anders Koed, Josianne Støttrup, Jane Grooss, Thomas Bregnballe, Henrik Løkke Sørensen, Jens Tang Christensen og Rasmus Nielsen.
- Nr. 179-08 Undersøgelse af sammenhængen mellem udviklingen af skarvkolonien ved Toftesø og forekomsten af fladfiskeyngel i Ålborg Bugt. Else Nielsen, Josianne Støttrup, Hanne Nicolajsen og Thomas Bregnballe.

- Nr. 180-08 Kunstig reproduktion af ål: ROE II og IIB. Jonna Tomkiewicz, Henrik Jarlbæk
- Nr. 181-08 Blåmuslinge- og stillehavsøstersbestandene i det danske Vadehav 2007. Per Sand Kristensen og Niels Jørgen Pihl
- Nr. 182-08 Kongeåens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra 1. måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 183-08 Taskekrabben – Biologi, fiskeri, afsætning og forvaltningsplan. Claus Stenberg, Per Dolmer, Carsten Krog, Siz Madsen, Lars Nannerup og Maja Wall.
- Nr. 184-08 Tvilho Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra 1. måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.